

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SISTEMAS VIVIENTES

---

## LAS MACROMOLÉCULAS: PROTEÍNAS

**Bibliografía:**

Alberts, Bruce y col. Introducción a la biología celular. 3ra edición en adelante. Ed Médica Panamericana, 2010.  
Capítulo 2.

De Robertis, E. y Hib, José. Fundamentos de Biología Celular y Molecular de De Robertis. 4ta edición. Ed. El Ateneo.  
Buenos Aires, 2004. Capítulo 2.

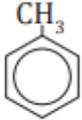
- NIVEL MOLECULAR Y MACROMOLECULAR DE LOS SISTEMAS VIVIENTES

## Clasificación de los componentes de los seres vivos



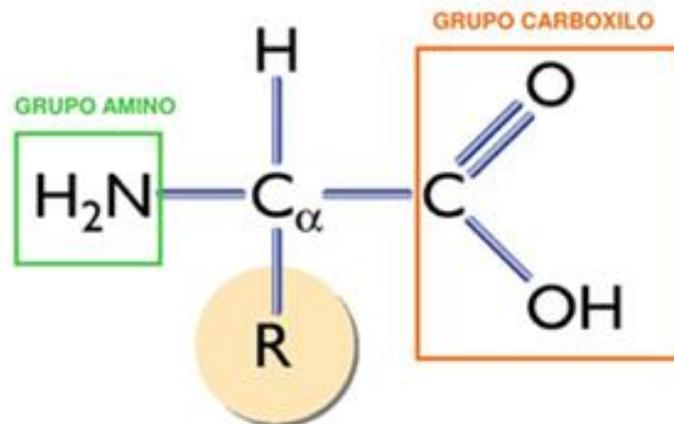
# GRUPOS FUNCIONALES

Un **grupo funcional** es un grupo de átomos unidos de forma característica al cual la molécula debe sus propiedades químicas fundamentales.

Clase de compuesto	Estructura general	Grupo funcional		Ejemplo
alcanos	$R - H$	No hay	$CH_3 - CH_2 - CH_3$	propano
alquenos	$\begin{array}{c} R & & R \\ & \diagdown & / \\ & C=C & \\ & / & \diagdown \\ R & & R \end{array}$	$>C=C<$	$CH_2 = CH_2$	eteno o etileno
alquinos	$R - C \equiv C - R$	$-C \equiv C-$	$CH_3 - C \equiv CH$	propino
derivados halogenados	$R - X$ (X: F, Cl, Br, I)	$-X$	$CH_3Cl$	clorometano
hidrocarburos aromáticos	$\begin{array}{c} R \\   \\ R-C_6H_4-R \\   \\ R \end{array}$			metilbenceno o tolueno
alcoholes	$R - OH$	$-OH$	$CH_3 - CH_2OH$	etanol
éteres	$R - O - R'$	$-O-$	$CH_3 - CH_2 - O - CH_3$	etil metil éter

Clase de compuesto	Estructura general	Grupo funcional	Ejemplo	
aldehídos	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R} - \text{C} - \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ - \text{C} - \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{H} \end{array}$	etanal
cetonas	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R} - \text{C} - \text{R}' \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ - \text{C} - \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_3 \end{array}$	propanona o acetona
ácidos carboxílicos	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R} - \text{C} - \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ - \text{C} - \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{OH} \end{array}$	ácido propanoico
ésteres	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R} - \text{C} - \text{OR}' \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ - \text{C} - \text{O} - \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{OCH}_3 \end{array}$	acetato de metilo
amidas	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R} - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$	etanamida
nitrilos	$\text{R} - \text{C} \equiv \text{N}$	$- \text{C} \equiv \text{N}$	$\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{N}$	etanonitrilo
aminas	$\begin{array}{c} \text{R} - \text{N} - \text{R}' \\   \\ \text{R}'' \end{array}$	$\begin{array}{c} - \text{N} - \\   \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{N} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	trimetilamina

# LOS AMINOÁCIDOS



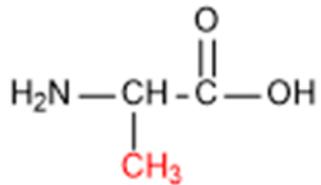
La cadena lateral es distinta en cada aminoácido y determina sus propiedades químicas y biológicas.

- ❖ Las células utilizan los aminoácidos para formar las proteínas.

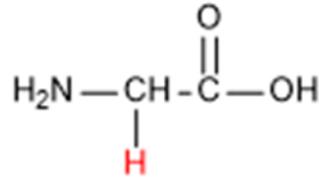
Existen cientos de estructuras R, por lo que se conocen más de 150 aminoácidos diferentes. Sin embargo, solo 20 de ellos se combinan para formar todas las proteínas de cualquier ser vivo.

# ESTRUCTURA Y CLASIFICACIÓN DE LOS VEINTE AMINOÁCIDOS

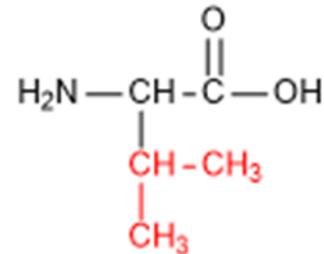
## AMINOÁCIDOS ALIFÁTICOS NEUTROS CON CADENA NO POLAR



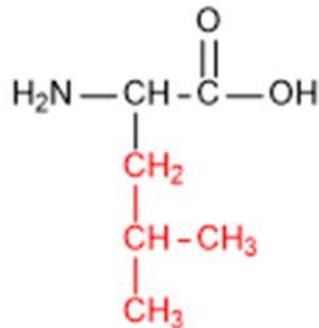
ALANINA (*Ala*, A)



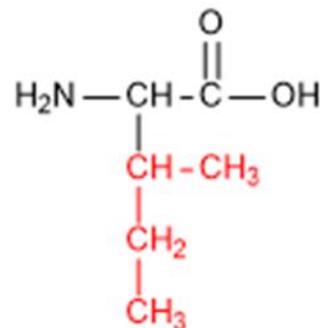
GLICINA (*Gly*, G)



VALINA (*Val*, V)

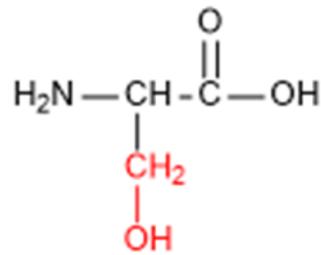


LEUCINA (*Leu*, L)

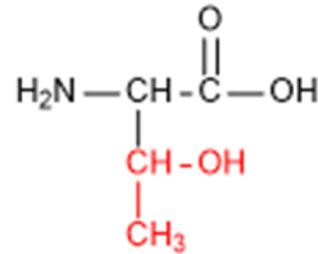


ISOLEUCINA (*Ile*, I)

# AMINOÁCIDOS ALIFÁTICOS NEUTROS CON CADENA POLAR NO IONIZABLE

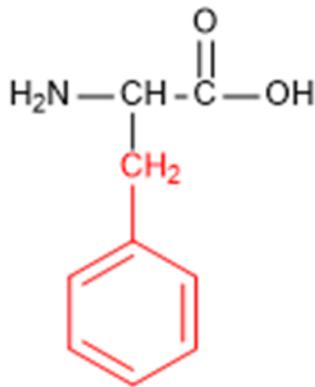


SERINA (*Ser*, S)

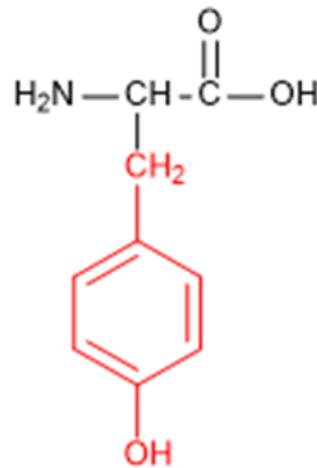


TREONINA (*Thr*, T)

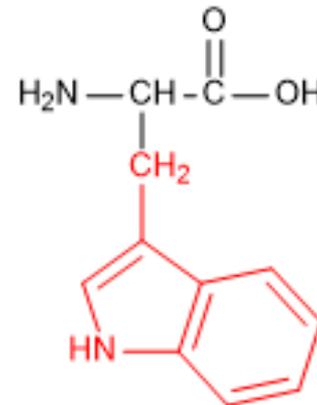
## AMINOÁCIDOS NEUTROS AROMÁTICOS



FENILALANINA (*Phe*, F)

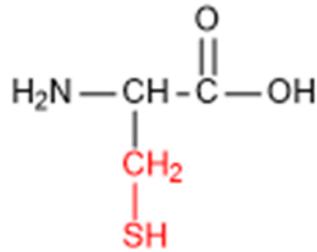


TIROSONA (*Tyr*, Y)



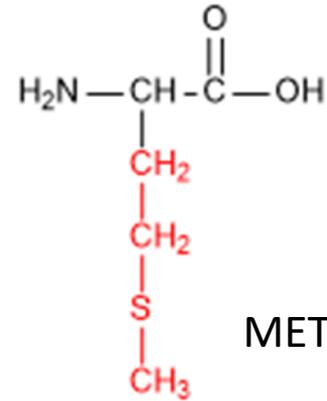
TRIPTÓFANO (*Trp*, W)

## AMINOÁCIDOS CON AZUFRE



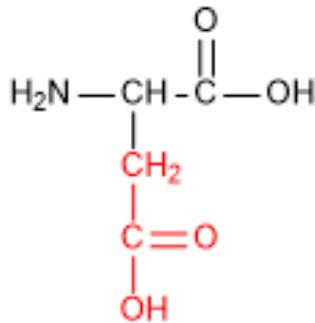
CISTEÍNA (Cys, C)  
(Ligeramente polar)

El grupo -SH es altamente reactivo. Puede formar uniones disulfuro S-S

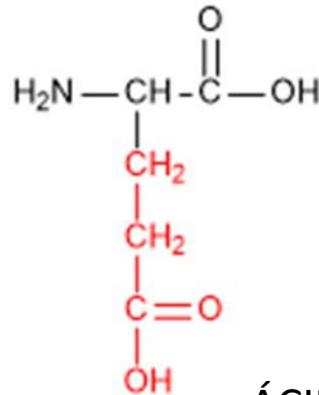


METIONINA (Met, M)  
(apolar)

## AMINOÁCIDOS ÁCIDOS (DICARBOXÍLICOS)



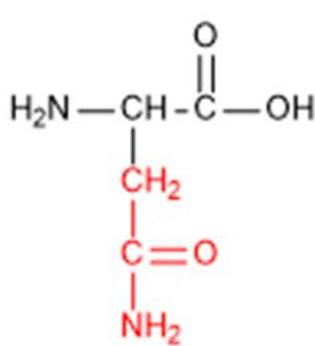
ÁCIDO ASPÁRTICO (Asp, D)



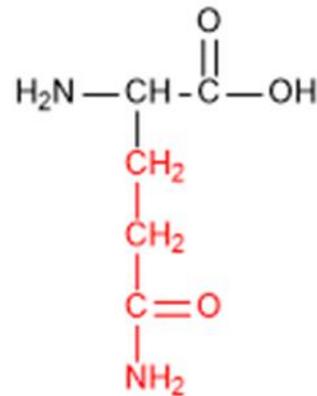
ÁCIDO GLUTÁMICO (Glu, E)

Tienen la propiedad de interactuar con sustancias básicas para formar uniones tipo salino.

## AMINOÁCIDOS DERIVADOS DE ÁCIDOS NEUTROS POLARES

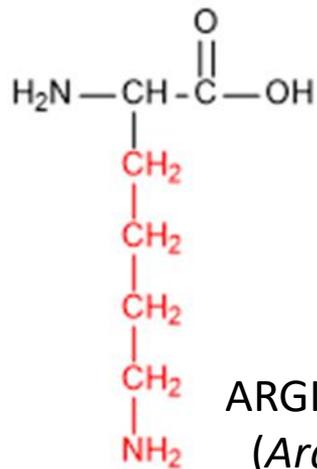


ASPARAGINA (*Asn*, N)

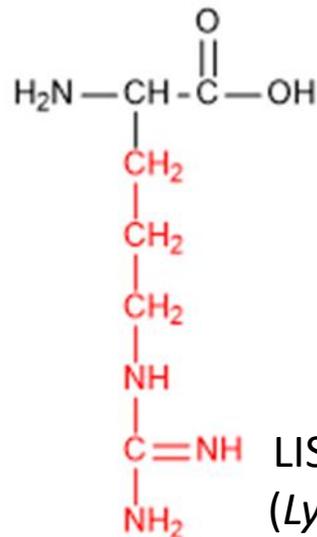


GLUTAMINA (*Gln*, Q)

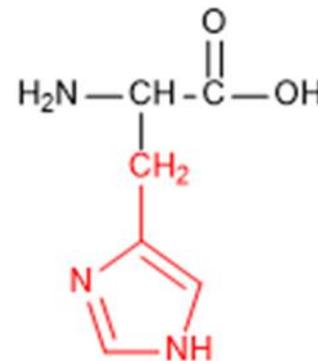
## AMINOÁCIDOS BÁSICOS



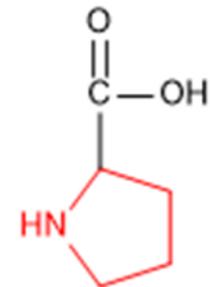
ARGININA  
(*Arg*, R)



LISINA  
(*Lys*, K)



HISTIDINA  
(*His*, H)



PROLINA  
(*Pro*, P)

# PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS AMINOÁCIDOS

## □ Comportamiento anfótero (iones dipolares)

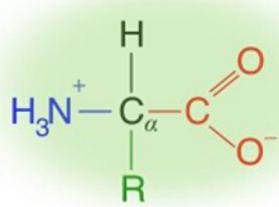
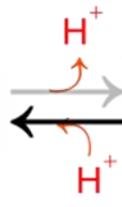
Los aminoácidos en disoluciones acuosas se comportan como ácidos o como bases, según el pH de la disolución

**Zwitterion**  
(aminoácido dipolar neutro)

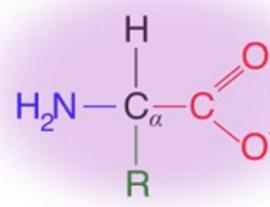
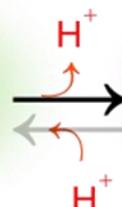


forma predominante cuando el medio es ácido **pH < pI**

¡El aa<sup>+</sup> actúa como base y capta protones convirtiéndose en aa<sup>-</sup>!



forma predominante cuando **pH = pI**



forma predominante cuando el medio es básico **pH > pI**

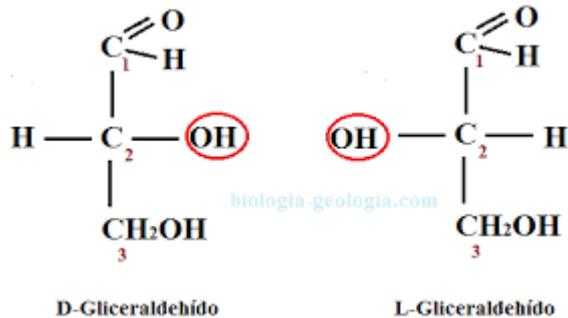
¡El aa<sup>+</sup> actúa como ácido y libera protones convirtiéndose en aa<sup>+</sup>!

El punto isoelectrico (**pI**) es pH en el cual se encuentra el aminoácido en forma de **zwitterion** (carga neta del aminoácido es cero).

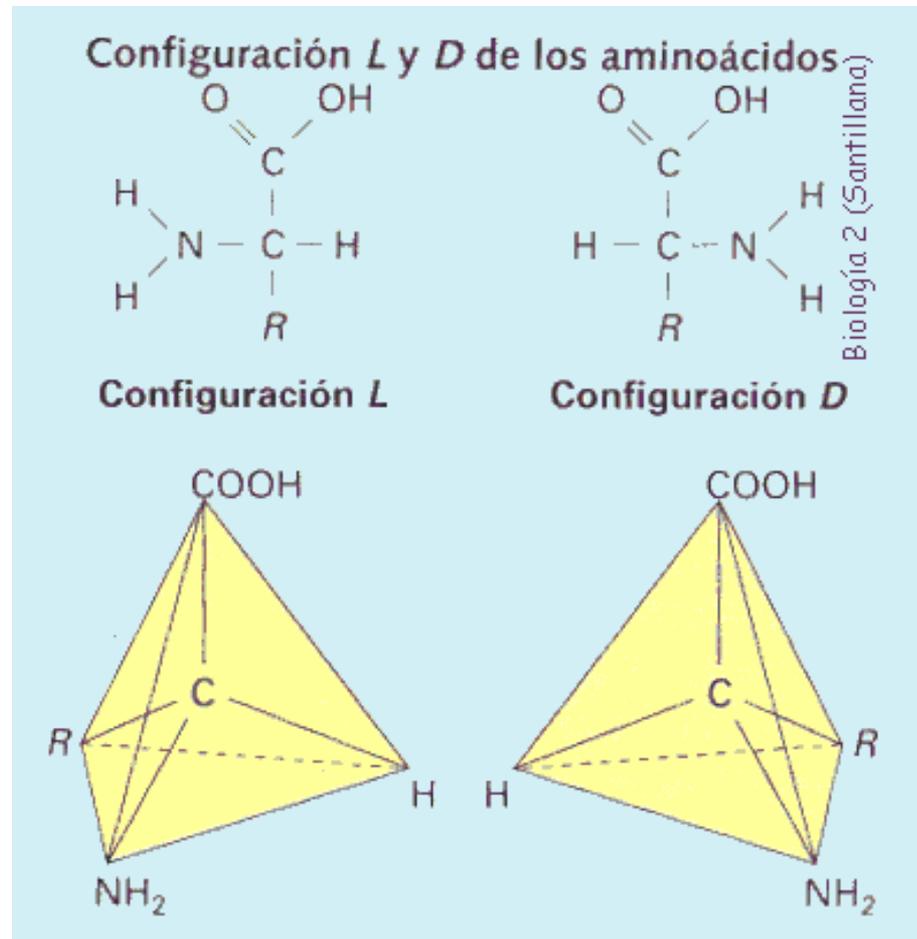
- Los aminoácidos participan en muchas reacciones químicas. Algunas de ellas comprenden al grupo -COOH, otras al grupo -NH<sub>2</sub> unidos al carbono α y otras son específicas de determinadas cadenas laterales.

# PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AMINOÁCIDOS

## ISOMERÍA ÓPTICA: ESTEREOISÓMEROS DE UN AMINOÁCIDO



En las proteínas sólo se encuentran aminoácidos de configuración L



Isómeros de este tipo poseen muchas de sus propiedades químicas iguales y propiedades físicas idénticas, excepto su capacidad para desviar en plano de vibración de la luz polarizada en un sentido u otro.

# AMINOÁCIDOS ESENCIALES Y NO ESENCIALES

## Aminoácidos

### 1. Esenciales

AMINOÁCIDO	ABREVIACIÓN	SIMBOLO
Histidina	His	H
Isoleucina	Ile	I
Leucina	Leu	L
Lisina	Lys	K
Metionina	Met	M
Fenilalanina	Phe	F
Treonina	Thr	T
Triptófano	Trp	W
Valina	Val	V

“El cuerpo **NO** los sintetiza y son necesarios”

“El cuerpo tiene la capacidad de Sintetizarlos”

### 2. No esenciales

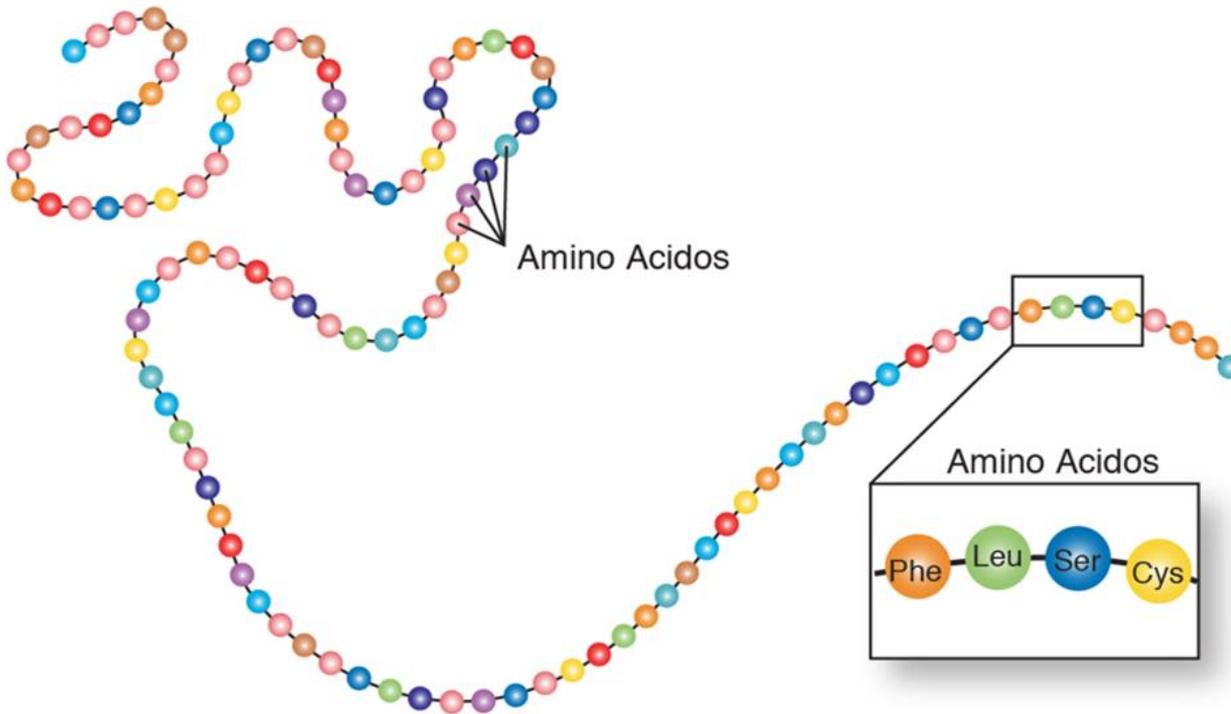
AMINOÁCIDO	ABREVIACIÓN	SIMBOLO
Alanina	Ala	A
Arginina	Arg	R
Asparagina	Asn	N
Cisteína	Cys	C
Glutamato	Glu	E
Glutanamina	Gln	Q
Glicina	Gly	G
Prolina	Pro	P
Serina	Ser	S
Tirosina	Tyn	Y

# PÉPTIDOS

Son cadenas lineales de aminoácidos

- ❑ Dipéptidos, si el nº de aminoácidos es 2;
- ❑ Tripéptidos, si el nº de aminoácidos es 3;
- ❑ Tetrapéptidos, si el nº de aminoácidos es 4;

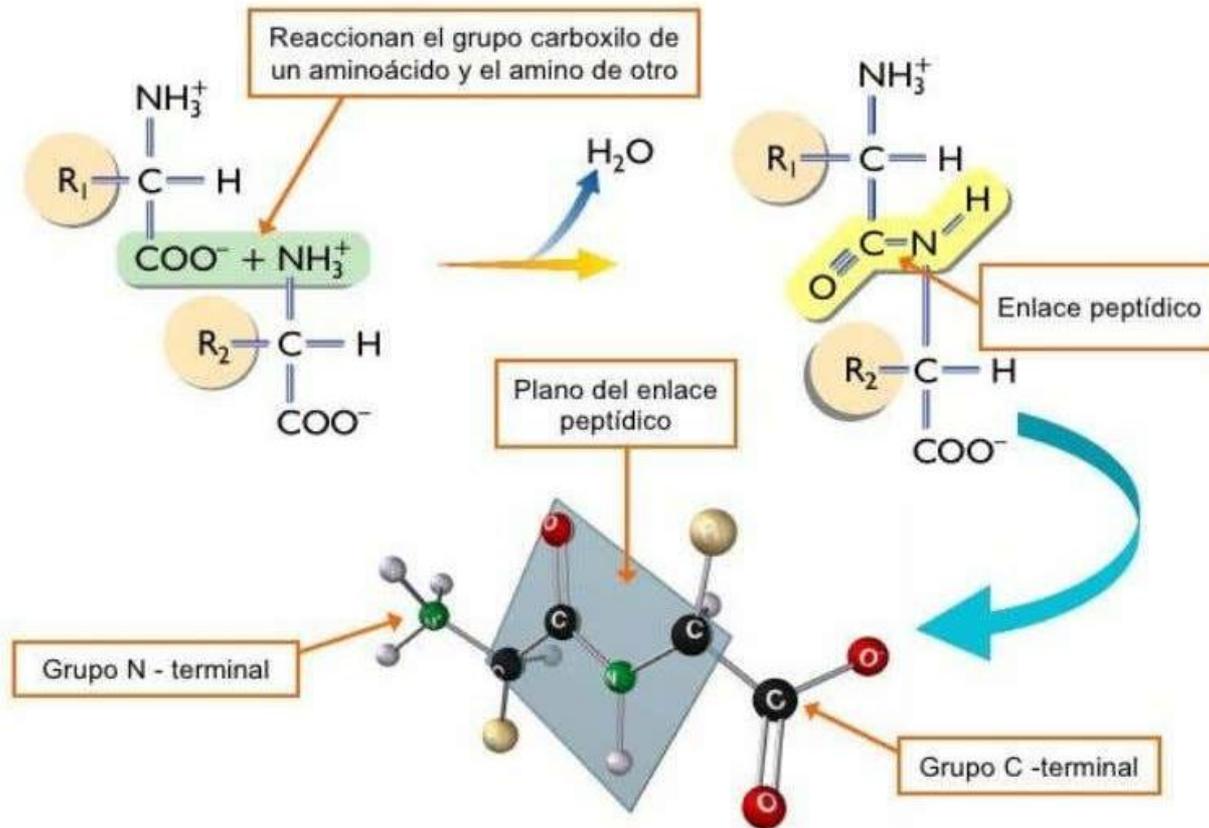
Cadena peptídica



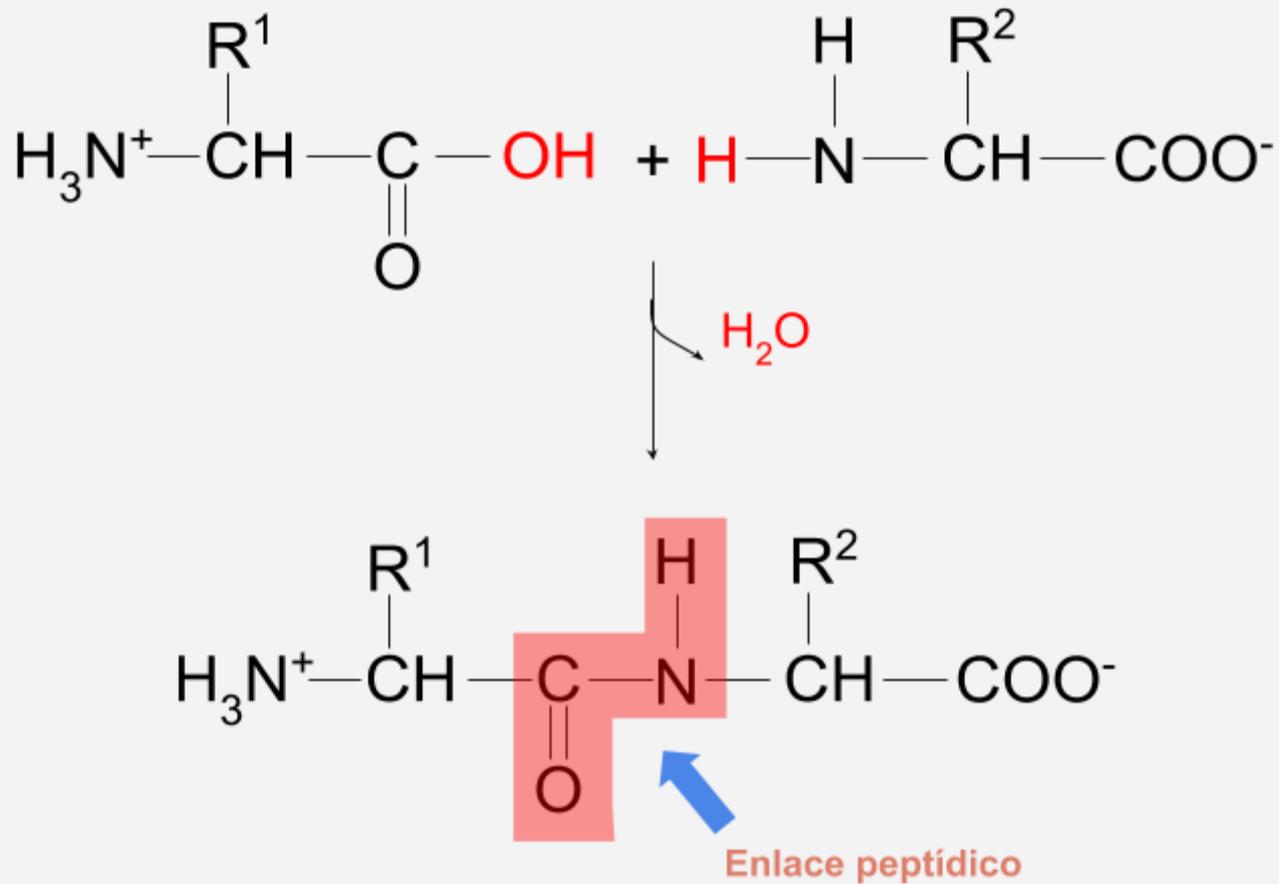
- ❑ Oligipéptidos, cuando se unen entre sí unos pocos aminoácidos, menos de 10;
- ❑ Polipéptidos o cadenas polipeptídicas, si el nº de aminoácidos es mayor 10;
- ❑ Proteínas, cadenas con más de 50 aminoácidos.

# EL ENLACE PEPTÍDICO

Reacción de condensación entre el grupo carboxilo del primer aminoácido y el grupo amino de un segundo aminoácido con la eliminación de una molécula de agua: enlace amida o enlace peptídico.

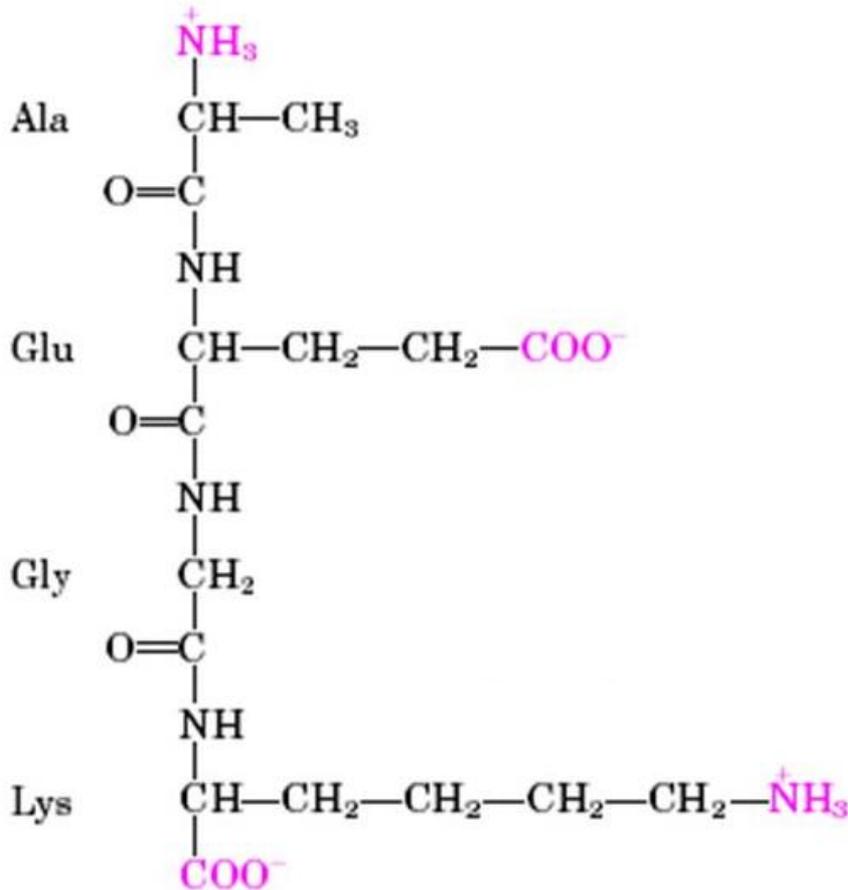


## Formación de un enlace peptídico



## PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS PÉPTIDOS

Las propiedades ácido-base de los péptidos están determinadas por los grupos amina y carboxilos terminales y por los grupos ionizables de las cadenas laterales de sus residuos aminoacídicos.



El pH del medio influye de manera análoga a la descrita para los aminoácidos.

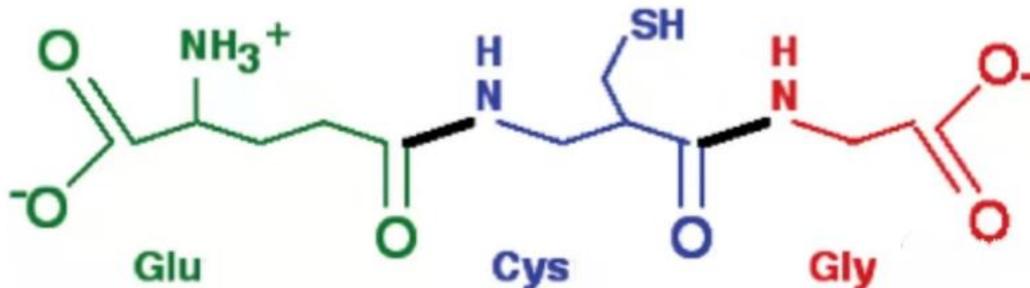
También poseen un pI.

## ALGUNOS PÉPTIDOS DE IMPORTANCIA BIOLÓGICA

- ❑ En general, están constituidos por aminoácidos unidos covalentemente mediante uniones peptídicas.
- ❑ Algunos pueden presentar características peculiares: uniones peptídicas atípicas, presencia de aminoácidos o derivados de aminoácidos no habituales en proteínas, formación de estructuras cíclicas, etc.

## EJEMPLOS DE PÉPTIDOS DE IMPORTANCIA BIOLÓGICA

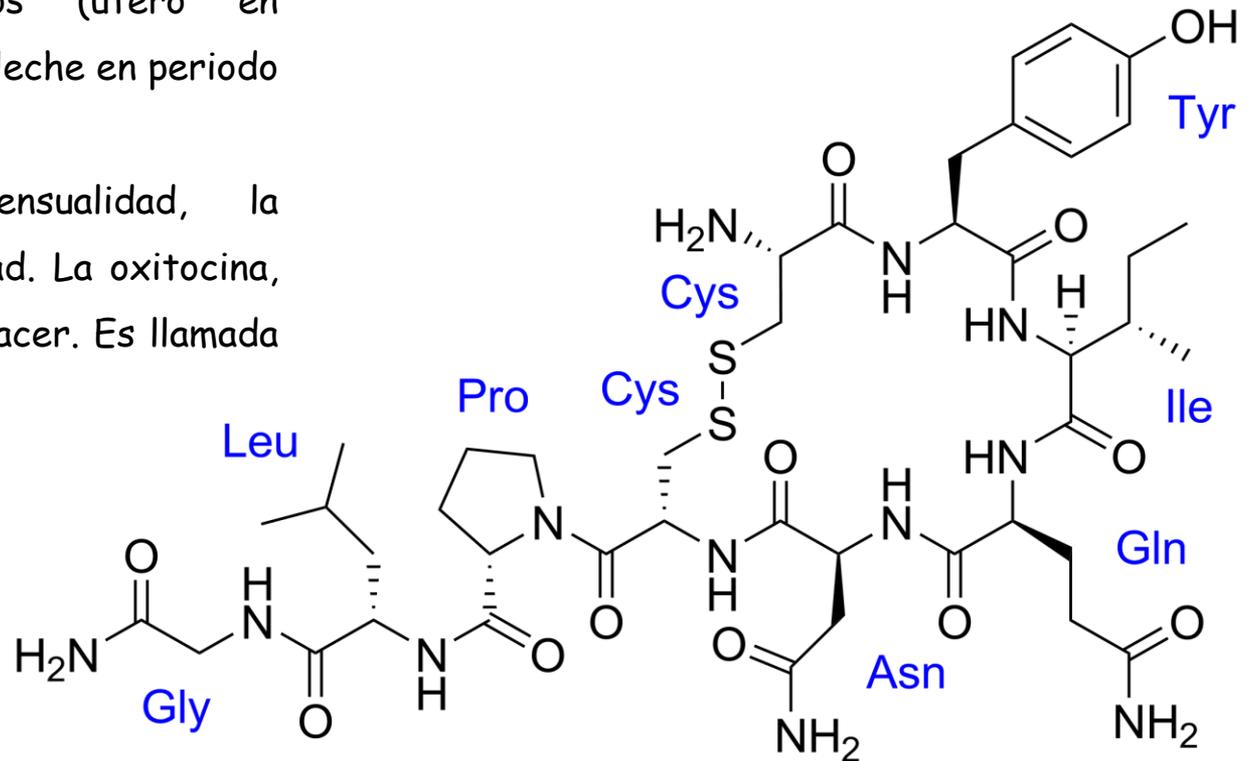
### ❖ GLUTATION



- Tripeptido.
- Participa en sistemas enzimáticos de óxido-reducción.
- Importante para mantener reducidos grupos -SH de proteínas.
- Previene daños oxidativos en glóbulos rojos y otras células. Principal antioxidante celular.

## ❖ OXITOCINA

- Nonapéptido cíclico producido por el hipotálamo.
- Función hormonal: estimula la contracción de los músculos lisos (útero en contracciones y salida de leche en periodo de lactancia).
- Efecto sobre la sensualidad, la afectividad y la sexualidad. La oxitocina, está relacionada con el placer. Es llamada "hormona del amor".

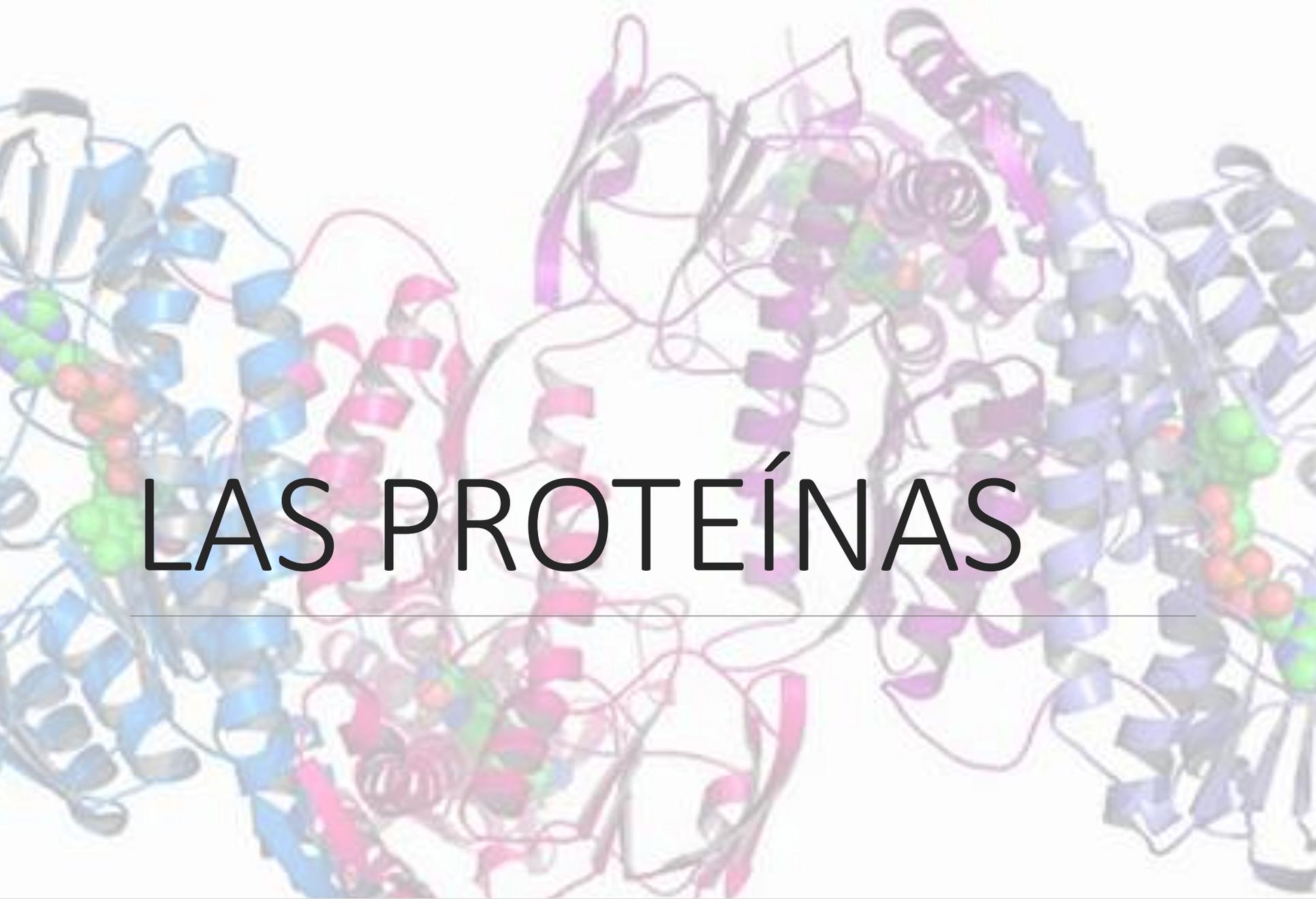


- Algunos antibióticos son o tienen partes constituidas por péptidos. Por ejemplo la valinomicina (dodecapéptido) y la gramicidina (decapéptido) son dos péptidos cíclicos.
- Varios neurotransmisores como las endorfinas y encefalinas son pentapéptidos.

## NEUROPÉPTIDOS



- Los neuropéptidos se componen de tres o más aminoácidos cada.
- Hay una gran diversidad de neuropéptidos. Algunos de ellos incluyen las endorfinas y las encefalinas, que inhiben el dolor; la sustancia P, que transmite las señales dolorosas, y el neuropéptido Y, que estimula a comer y puede actuar en la prevención de convulsiones.



# LAS PROTEÍNAS

---

# PROTEÍNAS

---

- ❑ Las **proteínas** son las moléculas más abundantes de la célula, con estructuras y tamaños muy variables, y pueden desempeñar una o varias funciones.
- ❑ Son *macromoléculas poliméricas* formadas por aminoácidos que se ensamblan a través de enlaces peptídicos.
- ❑ Se sintetizan en los ribosomas por traducción de las moléculas de ácido ribonucleico (ARN) mensajero (ARNm), utilizando el código genético y ARN de transferencia (ARNt).
- ❑ Se dispersan en el medio acuoso formando soluciones coloidales.
- ❑ En solución (medio celular) presentan un comportamiento anfotérico.

# DOGMA CENTRAL DE LA BIOLOGÍA CELULAR

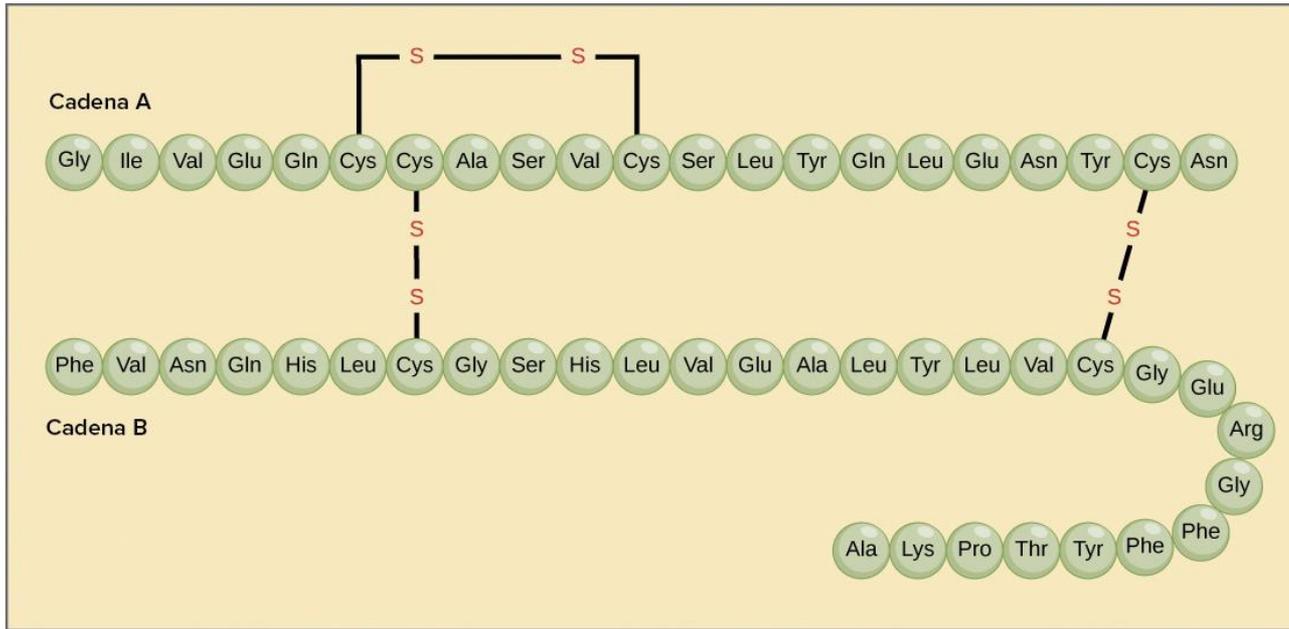
---



# NIVELES DE ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PROTEÍNAS

## ESTRUCTURA PRIMARIA

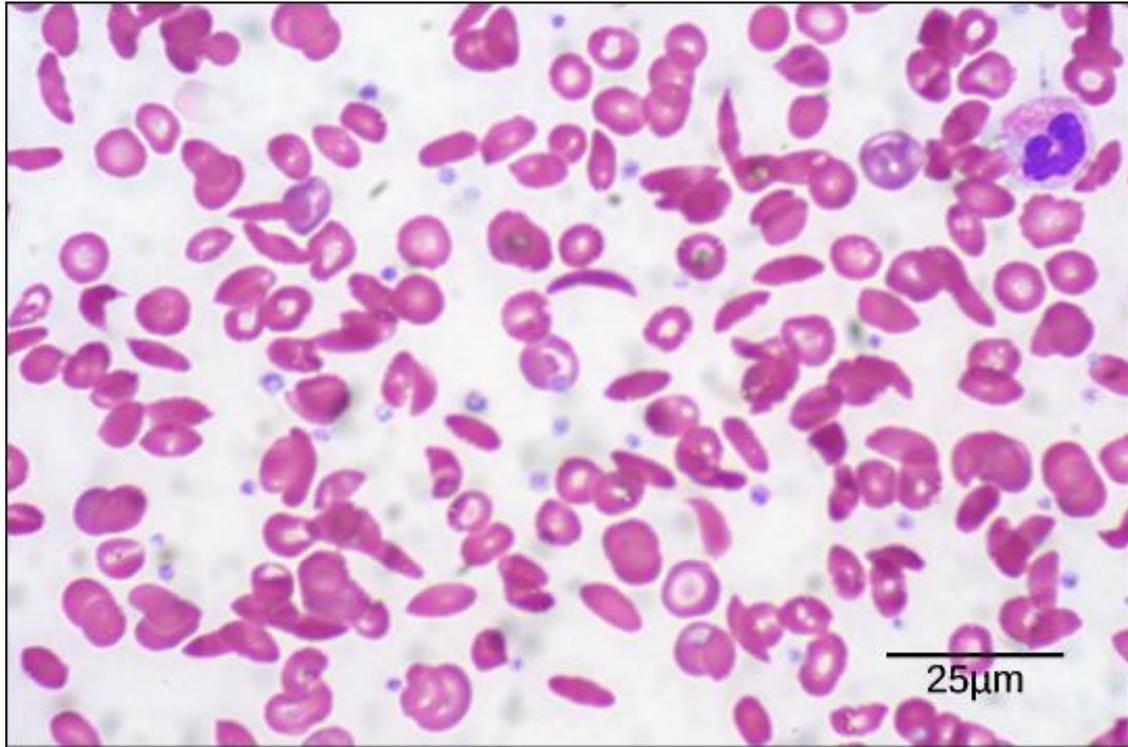
Es simplemente la secuencia de aminoácidos en una cadena polipeptídica.



Tal secuencia determina los demás niveles de organización de la molécula.

Por ejemplo, la hormona insulina tiene dos cadenas polipeptídicas, A y B, las cuales se muestran en el siguiente diagrama. Las cadenas de insulina están unidas mediante enlaces que contienen azufre entre cisteínas llamados enlaces o puentes disulfuro. (no son parte de la estructura primaria. Crédito de la imagen: OpenStax Biología.)

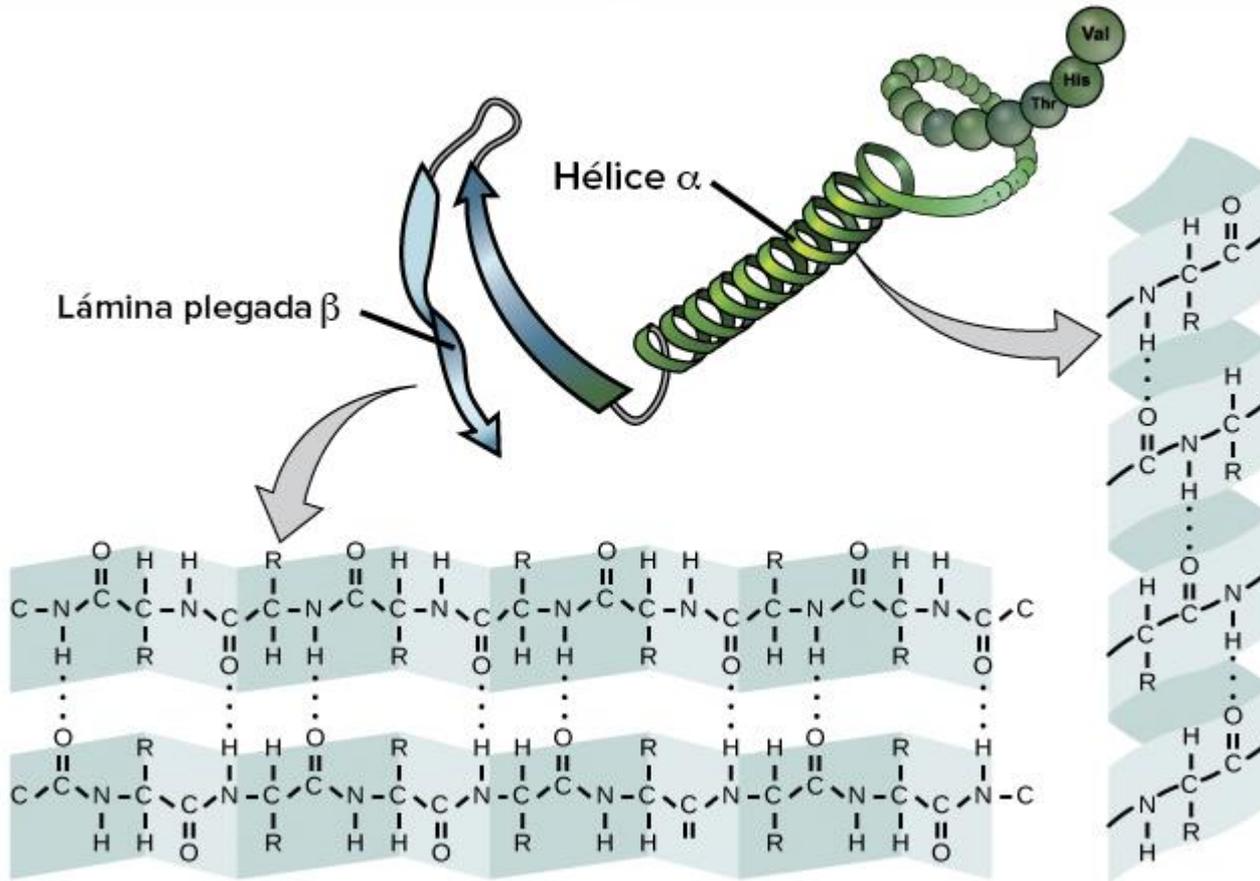
Muestra de sangre a continuación pueden verse ejemplos de células "falciformes" mezcladas con células normales en forma de disco.



Crédito de la imagen: OpenStax Biología; modificación del trabajo de Ed Uthman; datos de la barra de escala de Matt Russell.

# ESTRUCTURA SECUNDARIA

## Estructura secundaria de las proteínas



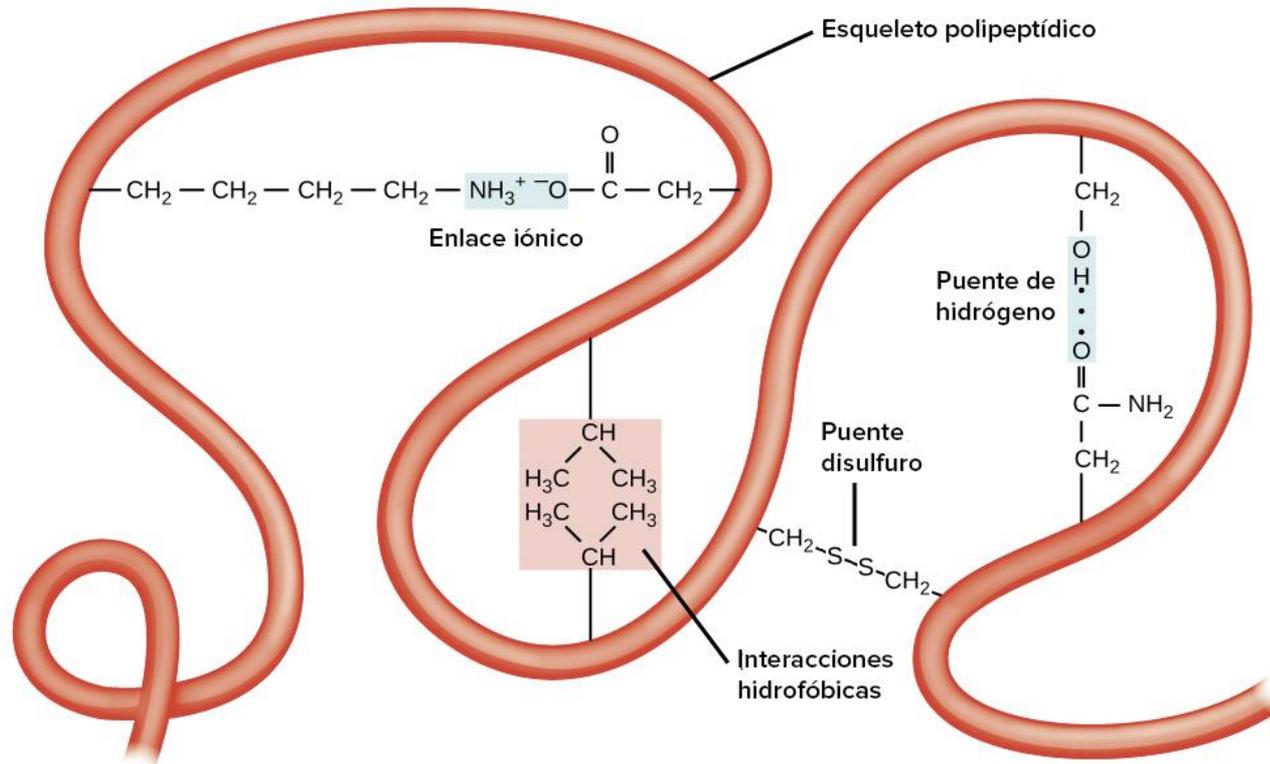
Estructura espacial plegada localmente (de la proteína o parte de ella) que se forma por la interacción entre los átomos de algunos aminoácidos que se encuentran en determinadas posiciones en la cadena polipeptídica.

En estas interacciones no participan los grupos R.

Crédito de la imagen: OpenStax Biología

# ESTRUCTURA TERCIARIA

Es consecuencia de la formación de nuevos plegamientos en las estructuras secundarias de hélice  $\alpha$  y hoja plegada  $\beta$ , generada porque se relacionan químicamente ciertos aminoácidos distantes entre sí en la cadena polipeptídica dando lugar a una configuración tridimensional de la molécula.

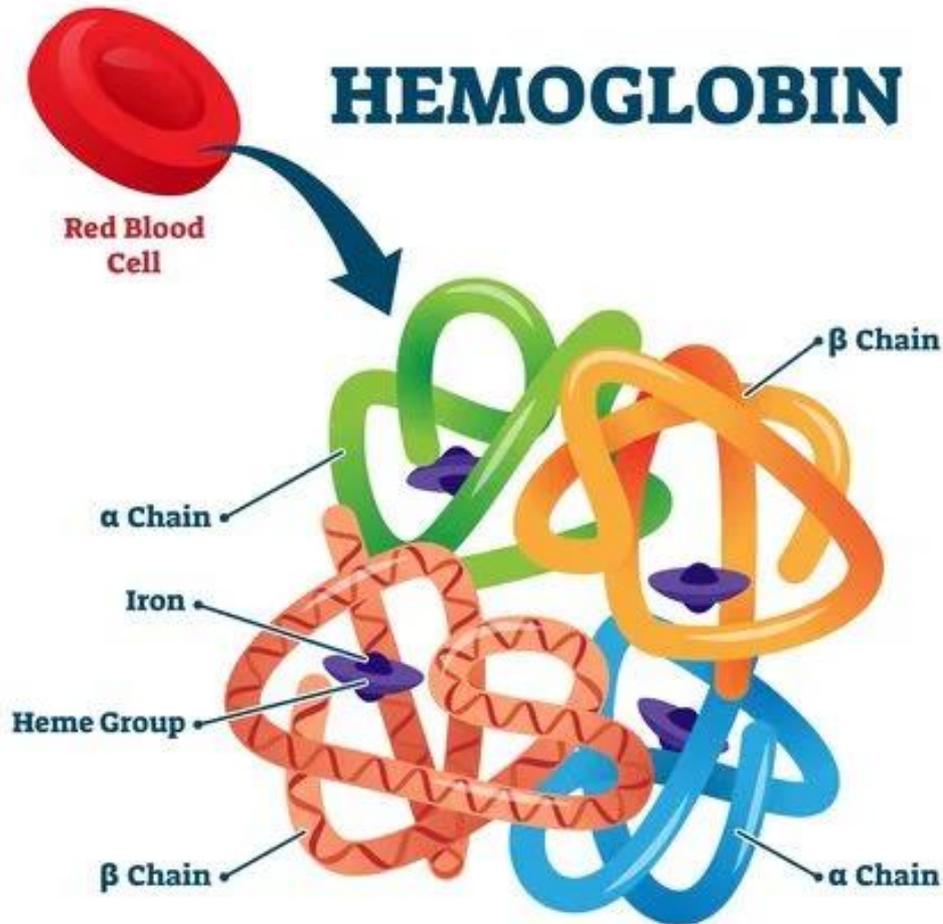


Se dan uniones químicas entre los grupos amino y carboxilo, pero principalmente en este tipo de estructuras participan los grupos R.

imagen modificada de OpenStax, Biología

# ESTRUCTURA CUATERNARIA

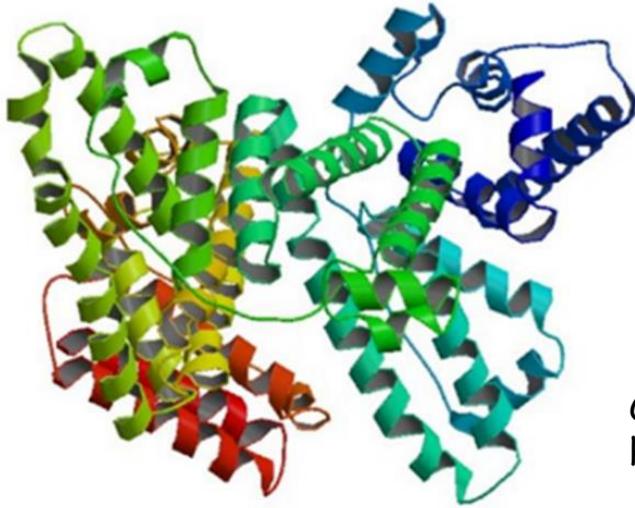
Resulta de la combinación de dos o más polipéptidos.



Cada cadena polipeptídica es conocida como subunidad.

Según el plegamiento que adoptan, se generan proteínas fibrosa o proteínas globulares.

### Globular

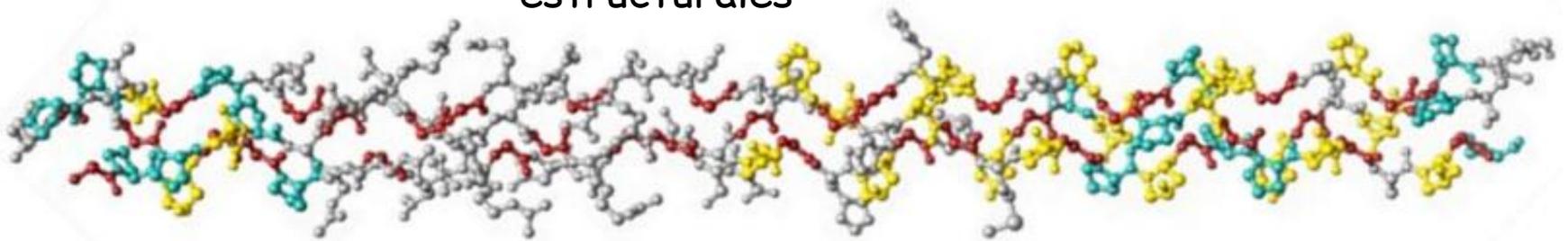


Son normalmente solubles en agua y con funciones biorreguladoras (enzimas y hormonas, por ejemplo).

Conformación globular de la seroalbúmina humana.

### Fibrilar

Normalmente insolubles en agua y con funciones estructurales



Conformación fibrilar del Colágeno.

Créditos: RCSB Protein DataBank.

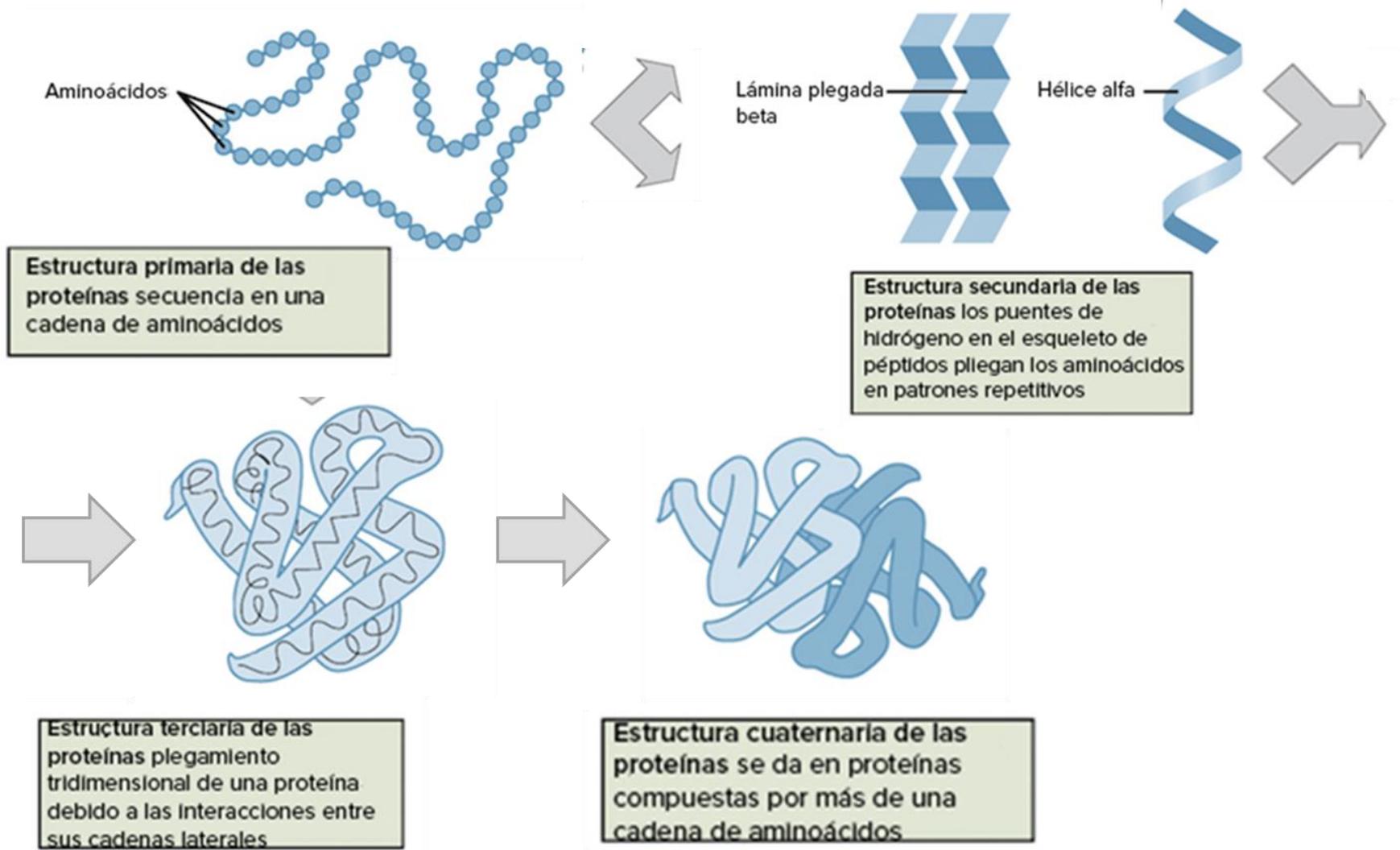
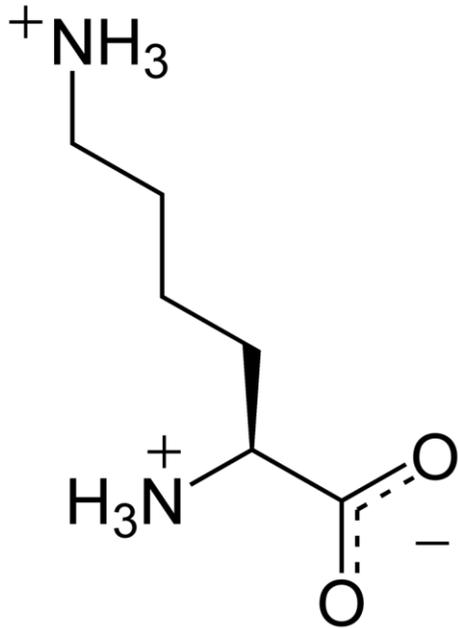


Imagen modificada de la realizada de OpenStax Biología a la obra del National Human Genome Research Institute (Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano).

# PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS

## COMPORTAMIENTO ANFÓTERO



Se refiere a que, en disolución acuosa, los aminoácidos de los extremos y aquellos que contienen en sus grupos R grupos ionizables, son capaces de ionizarse, dependiendo del pH, como un ácido (cuando el pH es básico), como una base (cuando el pH es ácido) o como un ácido y una base a la vez (cuando el pH es neutro).

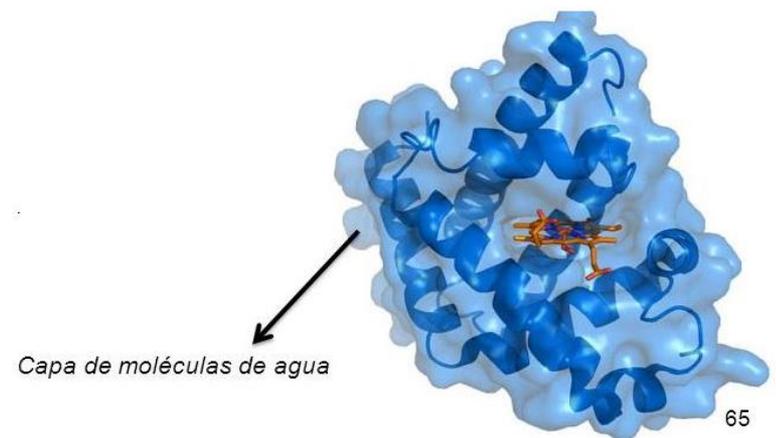
La carga eléctrica de una proteína depende principalmente de la disociación de los grupos ionizables existentes en las cadenas laterales de los restos aminoacídicos componentes.

## CAPACIDAD AMORTIGUADORA

El comportamiento ácido-base de las proteínas permite que sean capaces de neutralizar las variaciones de pH del medio, ya que pueden comportarse como un ácido (donando  $e^-$ ) o una base (aceptando  $e^-$ ) del medio donde se encuentran. Habrá un pH donde la carga neta de la proteína sea nula, ese valor es el punto isoeléctrico, el cual es característico de cada proteína.

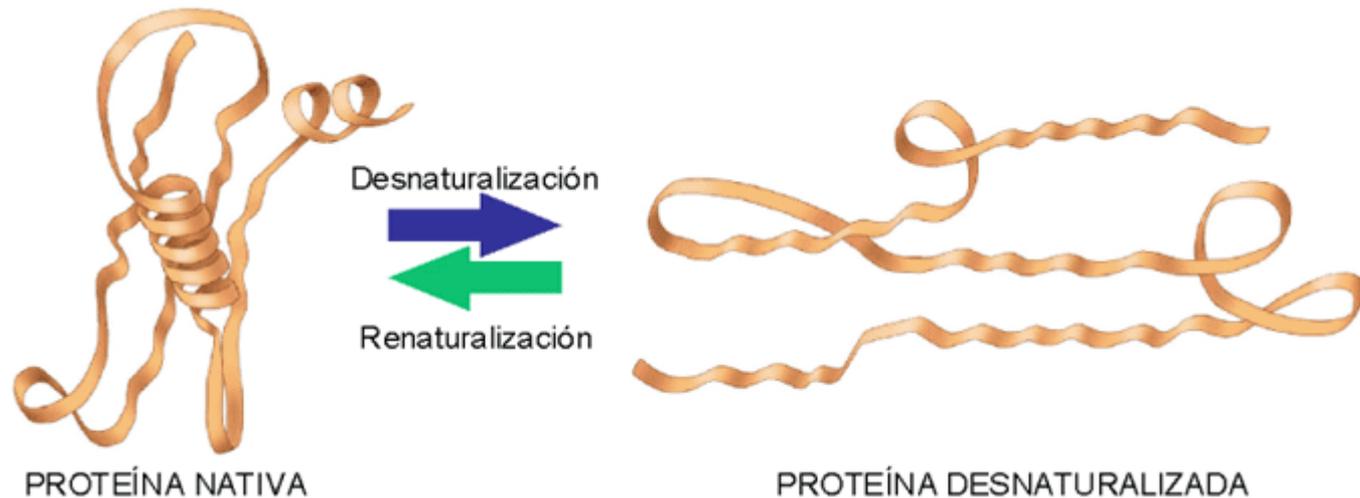
## SOLUBILIDAD

La solubilidad se debe a las características de los radicales R. Gran parte de las proteínas son solubles en agua o soluciones acuosas: la capacidad se debe a "la capa de solvatación": Muchos de los aminoácidos apolares se sitúan en el interior de la estructura, y los polares, que pueden establecer puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, se localizan en la periferia donde quedan solvatados. Esta capa de agua impide la unión entre proteínas. Si se pierde la capa de solvatación, las proteínas se unen entre sí y forman un agregado insoluble que precipita.



# DESNATURALIZACIÓN

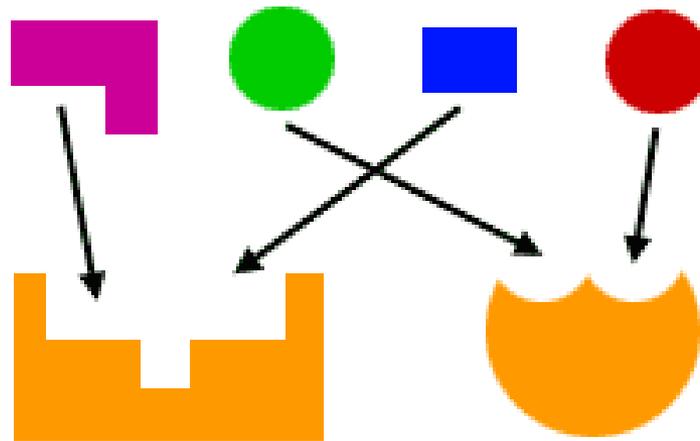
Consiste en la pérdida de la estructura tridimensional o conformación nativa por romperse los enlaces de la estructura cuaternaria, terciaria o secundaria, afectando la función biológica de la proteína.



- La desnaturalización se puede producir por factores como cambios de temperatura (huevo cocido o frito) y presión, variaciones del pH, alta salinidad, etc.
- La desnaturalización puede ser reversible o irreversible.

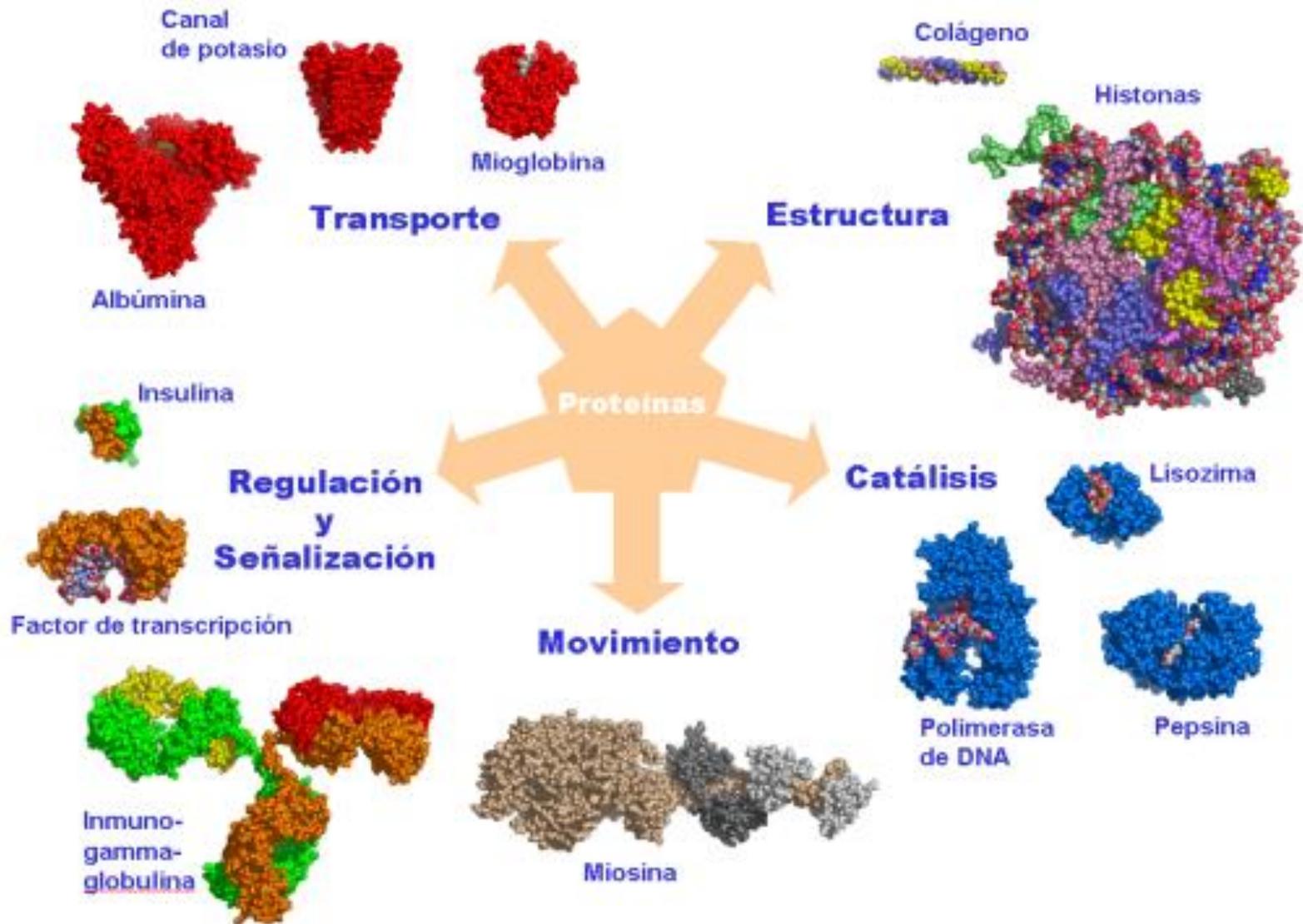
## ESPECIFICIDAD CUANDO ACTÚAN COMO ENZIMAS

La especificidad se refiere a la función que tiene la proteína, la cual está determinada por la estructura primaria que le otorga una conformación espacial propia; por lo que un cambio en la estructura de la proteína puede significar una pérdida de la función.



**Especificidad de las  
enzimas.**

# FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS EN LAS CÉLULAS



# Tipos de proteínas y sus funciones

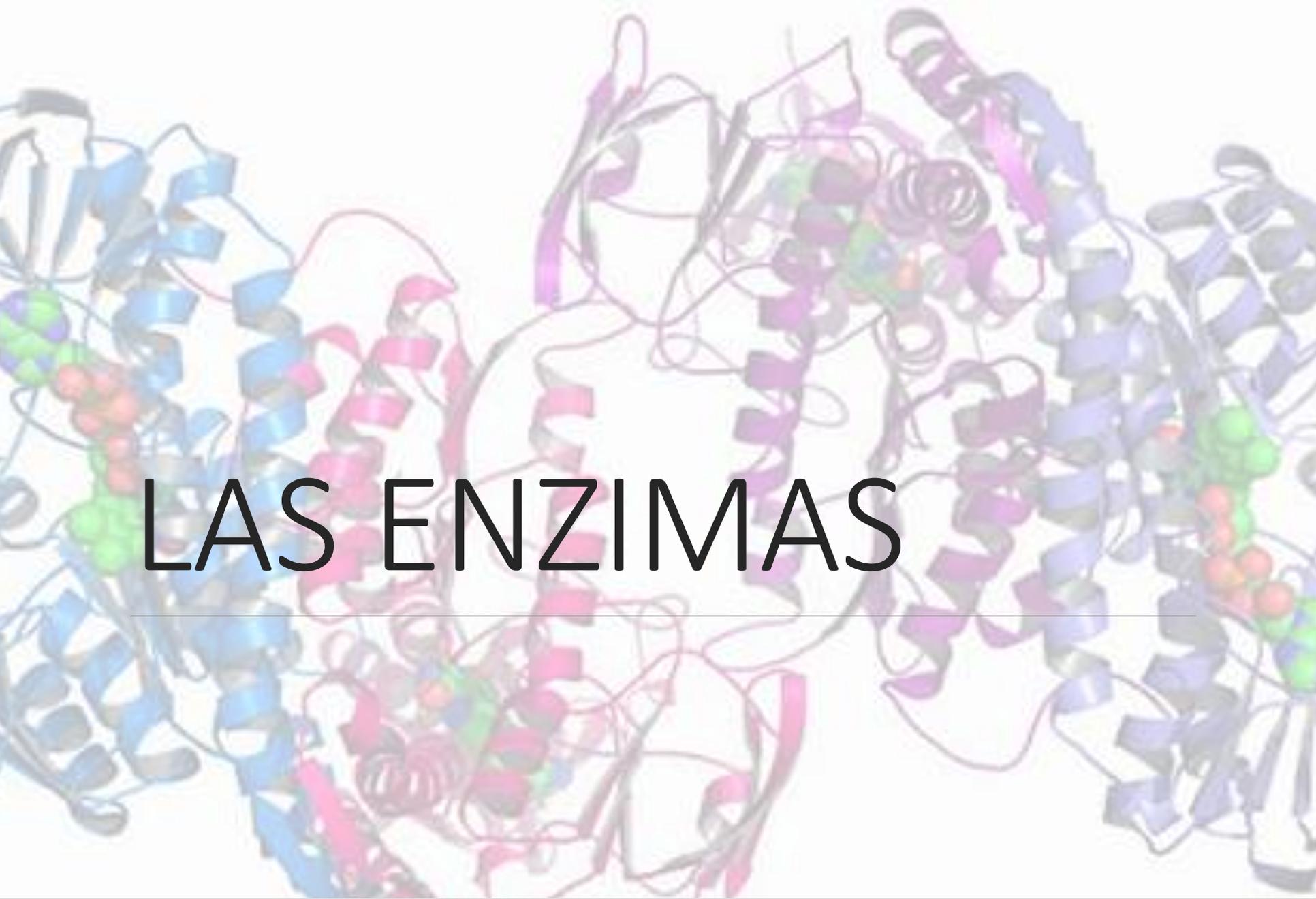
Función	Ejemplos	Funciones
Enzima digestiva	Amilasa, lipasa, pepsina	Degrada los nutrientes en los alimentos en trozos más pequeños que pueden ser absorbidos fácilmente
Transporte	Hemoglobina	Transporta sustancias por el cuerpo en la sangre o linfa
Estructura	Actina, tubulina, queratina	Forma diferentes estructuras, como el citoesqueleto
Señalización hormonal	Insulina, glucagón	Coordina la actividad de diferentes sistemas del cuerpo
Defensa	Anticuerpos	Protege el cuerpo de patógenos externos
Contracción	Miosina	Lleva a cabo la contracción muscular
Almacenamiento	Proteínas de almacenamiento en verduras, clara de huevo (albúmina)	Proporciona alimento para el desarrollo temprano del embrión o la plántula

## FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS EN LAS CÉLULAS

Las proteínas pueden tener funciones estructurales; enzimáticas, de transporte, contráctiles o de movimiento, con función homeostática, hormonal o señalizadora o inmunológica.

- La función estructural la desarrollan, por ejemplo, las proteínas de membrana, las del citoesqueleto celular, las histonas que mantienen el empaquetamiento del ADN, el colágeno de los tejidos animales, la elastina del tejido conjuntivo elástico, la queratina de pelo y uñas.
- La función enzimática de las proteínas es muy amplia y variada, ya que prácticamente todos los enzimas son proteínas, aunque existen algunas moléculas de ARN con actividad enzimática.
- La función de transporte se da nivel de membrana celular, a lo largo de la célula (a través del citoesqueleto), hacia dentro o fuera de la célula (internalización o secreción, a través de las proteínas formadoras de vesículas), o a diferentes partes del organismo (a través del torrente sanguíneo, como hace la seroalbúmina, por ejemplo).

- Las funciones contráctiles o de movimiento las realizan fundamentalmente las proteínas del citoesqueleto (movimiento), y la actina y miosina responsables de la contracción muscular.
- La función homeostática consiste en mantener los niveles del organismo constantes para determinados metabolitos o valores, como, por ejemplo, agua, temperatura, sales, pH. Por ejemplo, la seroalbúmina mantiene constantes los niveles de presión osmótica en la sangre compensando la concentración de otros solutos, y por lo tanto la presión sobre los vasos sanguíneos.
- La función hormonal y señalizadora es también importante, ya que muchas hormonas y neurotransmisores son proteínas o aminoácidos, o derivados de ellos. Algunos ejemplos son la insulina o el glutamato.
- La función inmunológica la realizan los anticuerpos, que son las proteínas encargadas de unirse a los antígenos para desencadenar la respuesta inmune.



# LAS ENZIMAS

# ENZIMAS

- Las enzimas son biomoléculas de naturaleza proteica (o glicoproteica) que aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio.
- Constituyen el tipo de proteínas más numeroso y especializado.
- Actúan como catalizadores de reacciones químicas específicas en los seres vivos o sistemas biológicos. Muchas de las enzimas no trabajan solas, se organizan en secuencias, también llamadas rutas metabólicas, y muchas de ellas tienen la capacidad de regular su actividad enzimática

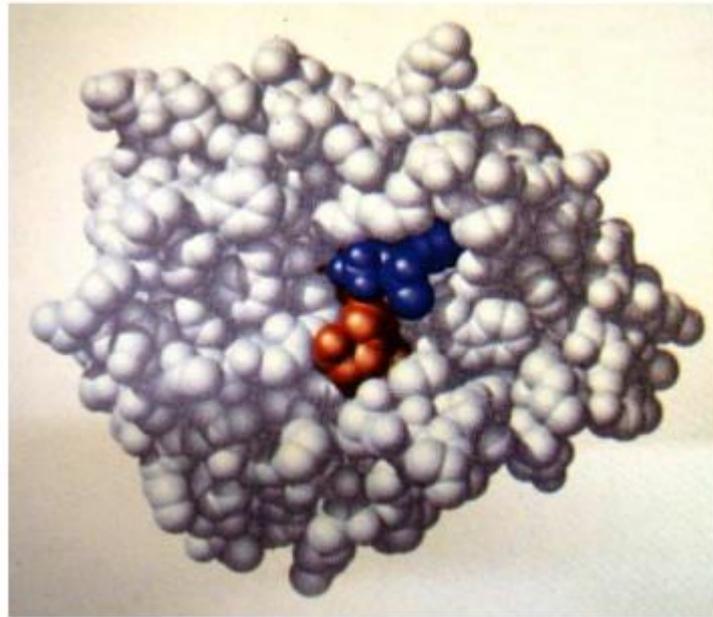
## Características de las enzimas

- Son proteínas que poseen un efecto catalizador. Son los más eficientes de la naturaleza.
- Actúan en cantidades muy pequeñas, aceleran las reacciones celulares, a velocidades extremadamente rápidas, transformando gran cantidad de sustrato.
- Influyen solo en la velocidad de reacción.
- Las enzimas forman un complejo reversible en la reacción, pudiendo actuar una y otra vez. No se consumen en la reacción.
- La actividad de las enzimas está regulada por agentes intracelulares o extracelulares, que aumentan o disminuyen su actividad.
- Las enzimas son altamente específicas para el sustrato. En otras palabras, una enzima participa en una única reacción.
- Su producción está directamente controlada por genes.

## Estructura de las enzimas

Son proteínas globulares formadas por una o más cadenas polipeptídicas plegadas, creando un "hueco" donde encaja el sustrato y tiene lugar la reacción

→ **CENTRO ACTIVO**



Enzima con un sustrato (azul) unido al centro activo (hueco) con un aminoácido clave del sitio activo (rojo).

La configuración tridimensional del centro activo es complementaria a la del sustrato y posee una distribución complementaria de sus cargas sobre la superficie de unión.

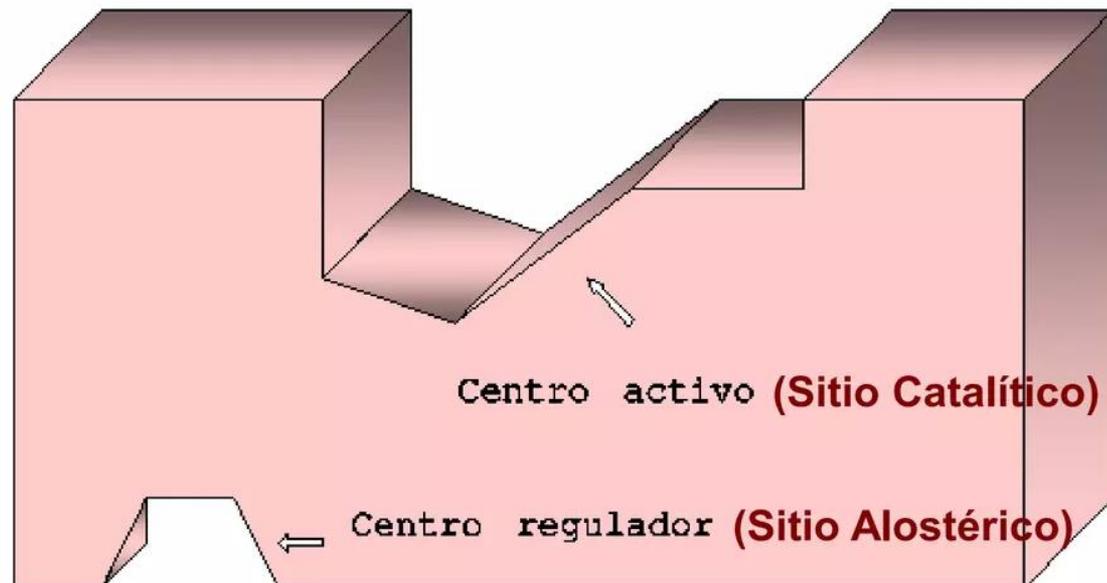
## Esquema de la estructura de una enzima.

### **Centro activo:**

zona de la molécula a la que se une el sustrato y donde se realiza la catálisis enzimática.

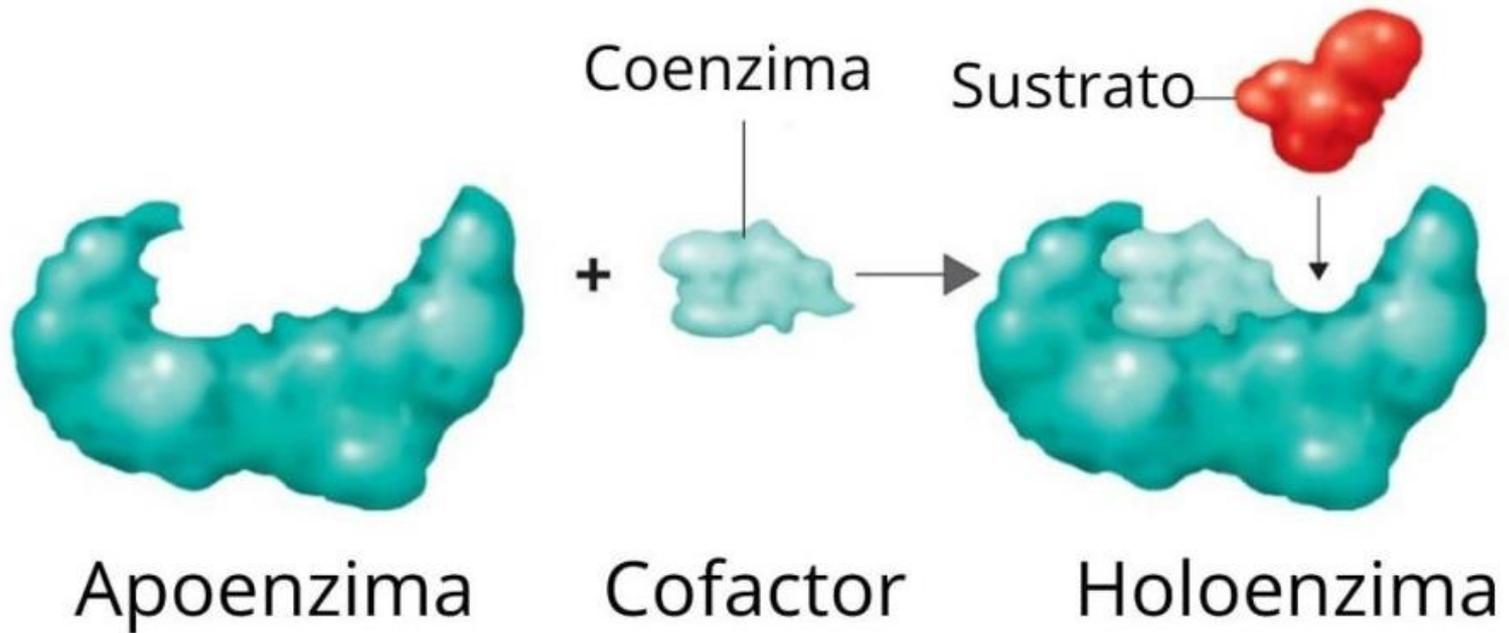
### **Centro regulador:**

zona en la que se unen las sustancias que regulan la actividad de la enzima.



# COENZIMAS

Las coenzimas son compuestos no proteicos que facilitan la acción de las enzimas y pueden unirse temporal o permanentemente a una enzima. Las dos porciones son indispensables para la acción de la enzima.



# HOLOENZIMA = APOENZIMA+COFACTOR

## COFACTORES

Son sustancias **NO PROTEICAS** necesarias para la actividad enzimática.

INORGÁNICOS  
↓  
IONES METÁLICOS



## ACTIVADORES METÁLICOS

Elemento	Enzima Activada
Zn <sup>++</sup>	Deshidrogenasas, anhidrasa carbónica, ARN y ADN polimerasas.
Mg <sup>++</sup>	Fosfohidrolasas, RUBISCO, fosfotransferasas, fosfatasas.
Mn <sup>++</sup>	Arginasas, peptidasas, quinasas.
Mo	Nitratoreductasa, nitrogenasa.
Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Citocromos, catalasas, ferredoxina, peroxidasas, nitritoreductasa.
Cu <sup>2+</sup>	Citocromo oxidasa, tirosinasa, ácido ascórbico oxidasa, plastocianina
Ca <sup>2+</sup>	1,3 b glucan sintetasa, calmodulina.
K <sup>+</sup>	Piruvato fosfoquinasa, ATPasa.
Co	Vitamina B <sub>12</sub> hallada en microorganismos y animales, pero no en plantas. Importante en la fijación simbiótica de nitrógeno.
Ni	Ureasa.

# Clasificación de las enzimas según su función

Clasificación	Propiedades bioquímicas
Oxidoreductasas	<p>Actúan en reacciones de óxido-reducción. Están asociadas a coenzimas.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cuando el sustrato es donante de hidrógeno → <i>deshidrogenasas</i>.</li><li>• Cuando el aceptor de hidrógeno es un <math>O_2</math> → <i>oxidasas</i>.</li><li>• Cuando la moléculas de <math>O_2</math> es incorporada al sustrato → <i>oxigenasas</i>.</li><li>• Cuando el aceptor de hidrógenos es un <math>H_2O_2</math> → <i>peroxidasas</i>.</li></ul>
Transferasas	<p>Transfieren grupos funcionales entre moléculas donantes yceptoras (<i>aminotransferasas, transaminasas, etc.</i>) Las <i>quinasas</i> son transferasas especializadas que regulan el metabolismo transfiriendo fosfatos desde el ATP a otras moléculas. Requieren de coenzimas.</p>
Hidrolasas	<p>Catalizan la ruptura de enlaces C-O, C-N, C-S y O-P por adición de agua.</p>
Liasas	<p>Catalizan la ruptura de uniones C-C, C-S y C-N (excluyendo uniones peptídicas) de las moléculas de sustrato por un proceso distinto al de hidrólisis.</p>
Isomerasas	<p>Interconvierten isómeros de cualquier tipo, ópticos, geométricos o de posición. Requieren de coenzimas.</p>
Ligasas	<p>Permiten la unión de dos moléculas acoplada con la hidrólisis de una molécula de ATP que provee la energía necesaria para que la reacción tenga lugar. Requieren de coenzimas.</p>