



Imagen 1. Autor: Kelvin Kay . Creative Commons

Bea acaba de terminar las fiestas navideñas y como todos, por estas fechas, está llena de buenos propósitos. Entre ellos, ha decidido centrarse y llevar a la práctica dos: leer textos de temática científica que le ayuden en su decisión de futuro, y hacer un poco de ejercicio en el gimnasio, pues con las comilonas de estos días cree que ha ganado unos kilos.

En una visita a la biblioteca ha elegido varios libros, dos de ellos le van a descubrir el fascinante mundo de las proteínas y el material genético.

¿Quieres saber qué ha aprendido y si le han ayudado a tomar una decisión de futuro?



Imagen 2. Autor: Andrea Alciato . Dominio público

"Proteo, el dios marino de los griegos, tenía la capacidad de adoptar innumerables formas, con él podríamos comparar a las proteínas. Las hay globulares, casi esféricas; otras desarrollan formas dobladas, retorcidas y con abundantes protuberancias, y otras aparecen como delicados filamentos, generalmente arrollados helicoidalmente. Ninguna de ellas son formas estáticas, se hinchan, vibran, se estiran, se contraen o se desenrollan, a veces con mucha brusquedad. Las proteínas son los agentes principales de todo proceso relacionado con los seres vivos".

Fuente: Modificado de *La célula viva*, Christian de Duve

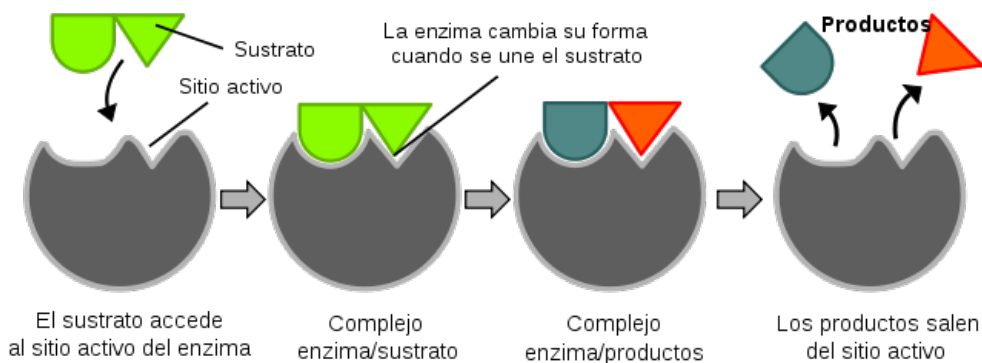


Imagen 3. Autor: Tim Vickers . Dominio público

Enzimas. Existe un grupo de proteínas capaces de catalizar las reacciones químicas, haciendo que se realicen con menos energía y de forma más veloz.

"La doble hélice es una estructura elegante, pero su mensaje es

absolutamente prosaico: la vida es sencillamente una cuestión de química. Crick y yo comprendimos rápidamente el significado intelectual de nuestro descubrimiento, pero en modo alguno podíamos haber previsto el impacto explosivo de la doble hélice en la ciencia y la sociedad. Las encantadoras curvas de la molécula contenían la clave de la biología molecular; una nueva ciencia que en el curso de estos últimos cincuenta años ha progresado de un modo sorprendente... El ADN ya no es solo un asunto que interese a los científicos de bata blanca en oscuros laboratorios universitarios; nos afecta a todos".

Fuente: *ADN: el secreto de la vida*, James D. Watson



Imagen 4. Autor: [Marjorie McCarty](#) . Licencia Creative Commons

1. Las proteínas: mucho más que formadoras de músculos.



<p>Imagen 5. Colágeno. Autor: J.Schmidt . Licencia Creative Commons</p>	<p>Imagen 6. Queratina Autor: J.Bush and J.Schmidt . Licencia Creative Commons</p>
<p>Imagen 7. Insulina. Autor: Raul654 . Licencia Creative Commons</p>	<p>Imagen 8. Trombina. Autor: D.S. Goodsell . Dominio público</p>

Bea ya ha descubierto que las proteínas son unas de las moléculas más importantes de los seres vivos y que no solo aparecen en los músculos. Todas las imágenes anteriores también son proteínas: el colágeno y la queratina tienen función estructural; el colágeno forma tendones, huesos y cartílago; la queratina forma la piel y derivados como el pelo, las uñas o las plumas; la insulina que regula el metabolismo glucídico tiene función hormonal; y la trombina, con función de defensa, participa en la coagulación de la sangre.

¡Estoy alucinada con las proteínas! No sabía que eran tan importantes, siempre había pensado que únicamente eran necesarias para una dieta equilibrada y tener buen músculo, pero he descubierto que participan en muchísimos procesos.

Importante

Las **proteínas** son macromoléculas orgánicas compuestas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y

nitrógeno. Además, es frecuente el azufre y en menor frecuencia fósforo, hierro, magnesio, cobre, etcétera.

Sus características principales son:

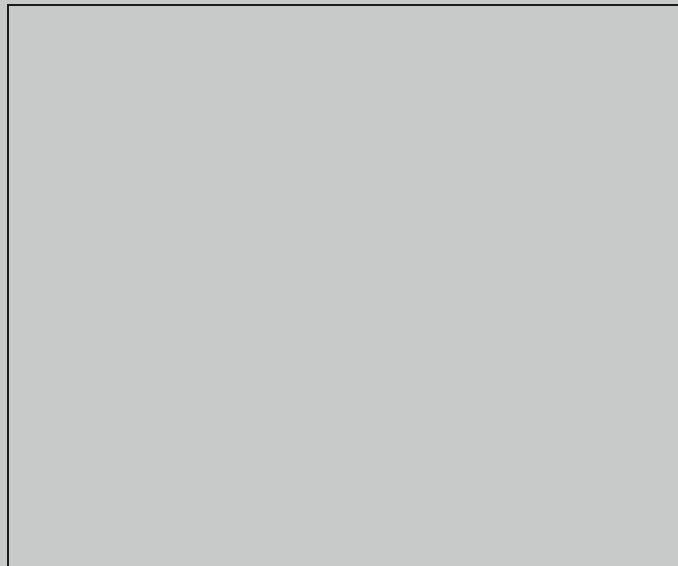
- Son compuestos de elevado peso molecular.
- Forman más del 50% en peso de la materia viva una vez seca.
- Son fundamentales para la estructura y el funcionamiento celular. En una sola célula puede haber miles de proteínas diferentes.
- Desempeñan funciones muy diversas dentro de las células.
- Son específicas, diferentes en las especies e incluso en individuos de la misma especie.
- Básicamente están formadas por 20 aminoácidos, unidos por enlaces peptídicos.
- Son la expresión de la información genética de la célula.

Para saber más



Imagen 9. Autor: [Desconocido](#) . Autorizado su uso educativo no comercial

Habrás podido comprobar que en muchos centros deportivos se ofrecen todo tipo de complementos proteínicos para conseguir una musculatura más potente, que, unidos al ejercicio físico, prometen darnos una figura de culturista. Pero ¿es cierto todo esto que nos venden?



Si quieres saber algo más sobre este asunto, lee este [artículo](#) de la página de Consumer Eroski y reflexiona.

Curiosidad

En los centros deportivos también habrás podido ver el lado menos positivo de la actividad física, el uso de esteroides anabolizantes —nandrolona, oximetolona, metenolona estanozolol—. Son compuestos derivados del ciclopentanoperhidrofenantreno; este nombre tan largo y extraño agrupa a moléculas como las hormonas sexuales masculinas (testosteronas), que tienen entre sus acciones desarrollar los caracteres sexuales primarios, pero también producir un aumento de la actividad anabólica, dentro de ella la síntesis de proteínas y el aumento de la masa muscular.

Su uso incontrolado puede producir graves trastornos en la salud del deportista. Mira algunos de sus efectos en este artículo de periódico (" **El corazón de los deportistas que consumen esteroides anabolizantes** ").

La utilización de esteroides anabolizantes para conseguir estos efectos es ilegal y peligrosa.

Comprueba lo aprendido

Es fácil aprender el concepto y características de las proteínas, ¿no te parece? Para asegurarte de que lo has asimilado, prueba a leer estas frases e indica si son verdaderas o falsas. ¡Ánimo!

a) Las proteínas son macromoléculas inorgánicas formadas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno:

Verdadero ☐ Falso ☐

b) Las proteínas son compuestos de elevado peso molecular:

Verdadero ☐ Falso ☐

c) Las proteínas desempeñan una única función dentro de las células:

Verdadero ☐ Falso ☐

d) Básicamente, las proteínas están formadas por 20 aminoácidos unidos por enlace glucosídico:

Verdadero ☐ Falso ☐

e) Son la expresión de la información genética de la célula:

Verdadero ☐ Falso ☐

f) Las biomoléculas ribosa, glucosa, queratina, fructosa y colesterol son ejemplos de proteínas:

Verdadero ☐ Falso ☐

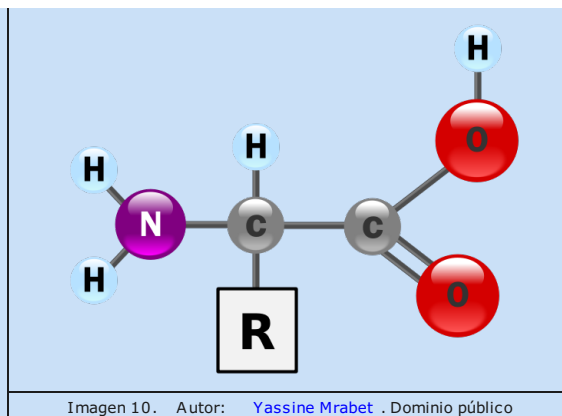
1.1. Aminoácidos y péptidos



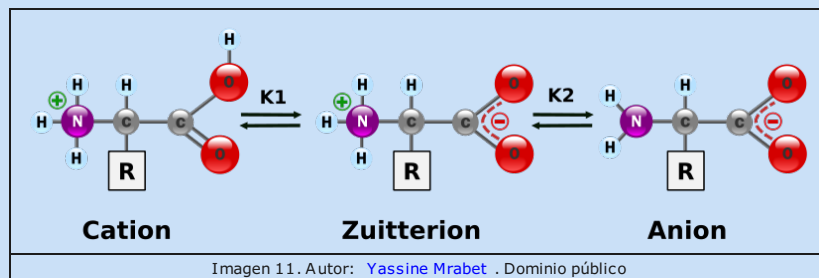
Importante

Los **aminoácidos** —unidades básicas que forman las proteínas— son compuestos que tienen todos ellos un grupo carboxilo (COOH) y un grupo amino (NH_2) unidos al mismo átomo de carbono, denominado carbono α (alfa), diferenciándose en las cadenas laterales o grupos representados por R.

El carbono α de todos los aminoácidos, excepto en la glicina y la glicocola, es asimétrico, por lo que de cada aminoácido hay **isómeros D y L**, y son ópticamente activos.



Los radicales ácidos y aminos de los aminoácidos pueden ionizarse, por lo que su comportamiento es **anfótero** al convertirse en iones híbridos o zwitteriones, que se comportan como un par ácido-base que les permite hacer frente a los cambios de pH en el medio celular. El pH en el que tienden a adoptar la forma de dipolo eléctrico es distinto para cada aminoácido y se conoce como **punto isoeléctrico**.



Comprueba lo aprendido

Lee las frases y complétalas con las palabras adecuadas.

Los aminoácidos son que tienen todos ellos un grupo (-COOH) y un grupo (-NH₂) unidos al mismo átomo de , denominado carbono α () , diferenciándose en las laterales o R.

Enviar

Importante

Clasificación de los α aminoácidos proteicos

La clasificación se basa en los grupos R, que en unos es polar e hidrófilo y en otros apolar e hidrófobo.

Se suelen hacer cuatro grupos:

- **Neutros no polares** o **hidrófobos** : carentes de grupos capaces de formar enlaces de hidrógeno, con igual número de radicales amino que carboxilo.
- **Neutros polares sin carga** : más solubles en agua que los no polares, porque sus radicales R pueden establecer puentes de hidrógeno.
- **Ácidos** : con mayor número de radicales carboxilo que amino, por lo que su carga neta es negativa.
- **Básicos** : con mayor número de radicales amino que carboxilo y con carga neta positiva.

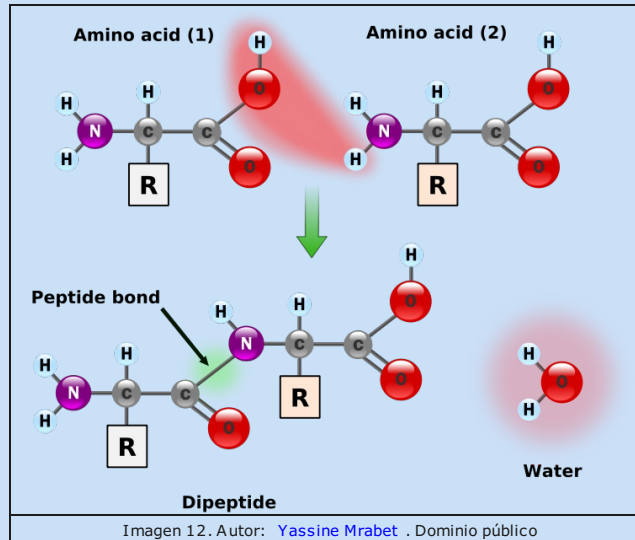
[Mira sus fórmulas](#)

Importante

Los péptidos son compuestos formados por dos o más aminoácidos unidos mediante enlaces peptídicos.

El **enlace peptídico** es un enlace covalente entre el grupo amino de un aminoácido y el grupo carboxilo del otro, con desprendimiento de una molécula de agua. En el enlace peptídico, los átomos del grupo carboxilo y los del grupo amino se hallan en el mismo plano, con ángulos y distancias concretas, estabilizados por resonancia.

El enlace tiene carácter parcial de doble enlace, por lo que no permite giros como en los demás enlaces covalentes normales. Este hecho es determinante para la configuración espacial de las proteínas.



¿Quieres ver esta explicación en una animación? Pincha en este [enlace](#) .

Comprueba lo aprendido

Lee las frases siguientes y decide si son verdaderas o falsas.

a) La clasificación de los α aminoácidos proteicos basada en los grupos R nos da tres grupos:

Verdadero ☐ Falso ☐

b) Los péptidos son compuestos formados por dos o más aminoácidos mediante enlaces covalentes:

Verdadero ☐ Falso ☐

c) El enlace peptídico tiene carácter parcial de doble enlace, lo que permite giros como en los demás enlaces covalentes normales.

Verdadero ☐ Falso ☐

d) Los aminoácidos lisina (Lys) y arginina (Arg) pertenecen al grupo ácido.

Verdadero ☐ Falso ☐

1.2. Niveles estructurales



Importante

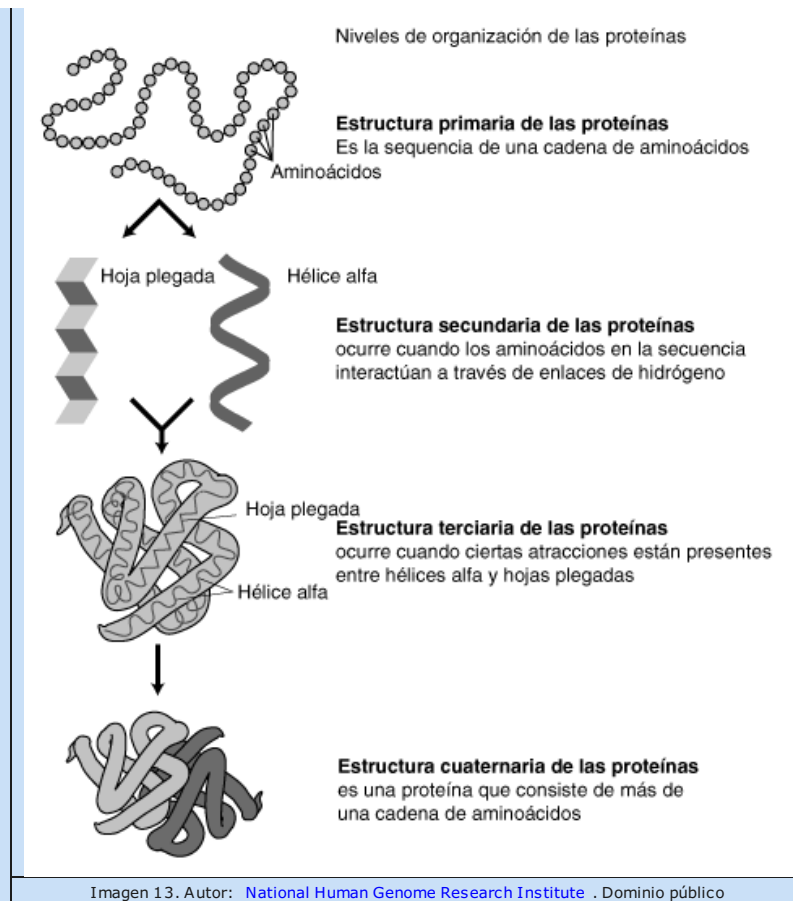


Imagen 13. Autor: [National Human Genome Research Institute](#) . Dominio público

La actividad biológica de las proteínas depende de su configuración espacial, por ello adoptan la conformación más idónea para desempeñar su función.

Se puede hablar de cuatro tipos de estructuras.

- **Primaria** , formada a partir del encadenamiento de los aminoácidos.
- **Secundaria** , formada por el plegamiento de la cadena primaria.
- **Terciaria** , cuando se pliega sobre sí misma la estructura secundaria.
- **Cuaternaria** , cuando varias cadenas con estructura terciaria constituyen subunidades que se asocian entre sí.

En esta presentación tienes una descripción de las [estructuras](#) comentadas.

Curiosidad

Bea ha ido a la peluquería para hacerse una permanente de las que se llevaban en los 80, pues tiene una fiesta y quiere cambiar de imagen. Su peluquero, una persona muy formada, le ha contado porqué su pelo liso se rizará.



Imagen 14. Autor: [Desconocido](#) . Autorizado su uso educativo no comercial



Imagen 15. Autor: [Peter Klashort](#) . Licencia Creative Commons

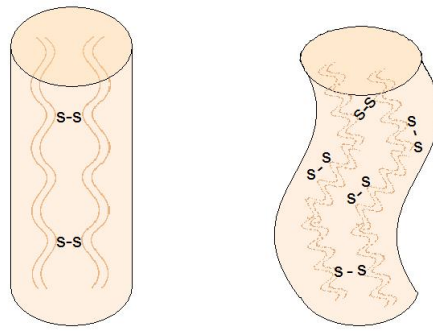


Imagen 16. Autor: Marisa Cabello Mena para estos materiales.

La forma de tu cabello, lacio o rizado, depende del modo en que se establezcan los puentes disulfuro entre las moléculas de queratina. En los cabellos lacios, los puentes disulfuro entre las α -hélices de la queratina se establecen al mismo nivel, mientras que en los cabellos rizados, los puentes establecen uniones entre regiones que se sitúan en diferente nivel, como cuando abrochamos mal los botones de una chaqueta. El rizado del cabello en la peluquería se consigue utilizando unos reactivos que rompen los puentes disulfuro del cabello lacio natural y establece otros nuevos entre las diferentes regiones.

Comprueba lo aprendido

a) ¿Cuáles son las modalidades de estructura secundaria en las proteínas?



- ☐ Lámina y glóbulo.
- ☐ α hélice y β laminar.
- ☐ Terciaria y cuaternaria.

b) La estructura primaria de las proteínas consiste en la unión de:

- ☐ Aminoácidos.
- ☐ Nucleótidos.
- ☐ Polipéptidos.

c) Los tipos de enlaces que estabilizan las estructuras terciaria y cuaternaria son:

- ☐ Peptídico y glucosídico.
- ☐ Disulfuro, puentes de hidrógeno, fuerzas electrostáticas, fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas.
- ☐ Iónico, covalente y puentes de hidrógeno.

Actividad

Las propiedades de las proteínas dependen básicamente de los **radicales R** presentes en los aminoácidos que las constituyen, que pueden reaccionar entre sí y con las sustancias que los rodean. El centro activo de una proteína viene dado por los aminoácidos, cuyos radicales pueden reaccionar con otras moléculas.

Las principales propiedades de las proteínas son tres:

- Especificidad.
- Solubilidad.
- Desnaturalización.

Aquí tienes un documento con [más información](#) sobre ellas.

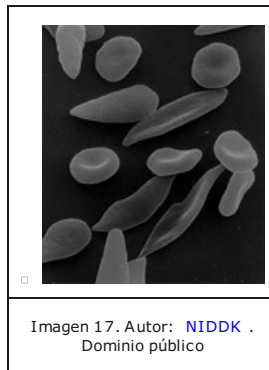
Reflexiona

¿Qué ocurre si se produce un cambio en la secuencia de aminoácidos de una proteína?

Pulse aquí

Bea ha estado esta tarde en el gimnasio, ya que después de las Navidades se había propuesto hacer algo de ejercicio. Se ha encontrado a su compañero Ismael y lo ha visto muy pensativo. Han charlado un rato.

—¿Sabes qué es la anemia falciforme, Bea? He encontrado una fotografía de los glóbulos rojos afectados por esta alteración en una revista y son muy distintos a los normales.



Esta alteración de los glóbulos rojos —aparecen con forma de hoz, a diferencia de la conformación plana, en disco, típica de los eritrocitos normales, y por tanto sin funcionalidad correcta— se basa en una de las propiedades de las proteínas, la especificidad. En los enfermos, en las cadenas beta de la proteína hemoglobina existe una sustitución del aminoácido ácido glutámico en posición 6 por un resto de valina; el centro activo se ve modificado y también su actividad transportadora de oxígeno.

La **hemoglobina** es una cromoproteína de color rojo con estructura cuaternaria, constituida por una parte proteica, cuatro cadenas polipeptídicas, dos alfa (α) y dos beta (β), que contienen como grupo prostético —componente no amniocídico que forma parte de la estructura de algunas proteínas— el grupo hemo, cuyo metal es el Fe^{2+} . Se encuentra en los eritrocitos y su función es el transporte de oxígeno en sangre.

Ejercicio resuelto

Bea, después del gimnasio, ha invitado a sus amigos a una cena en su casa. Ha dicho que será ligerita, con ensaladas y fruta y algo de queso, a ella le encantan de todos los tipos. Para las ensaladas ha cocido unos huevos, buena fuente de proteínas y como siempre ha salido su espíritu investigador...

¿Qué es lo que le ocurre a un huevo cuando se cuece?



Imagen 18. Autor: César Astudillo .
Licencia Creative Commons

Mostrar retroalimentación

Comprueba lo aprendido

Lee las siguientes frases sobre las propiedades de las proteínas y complétalas.

Los grupos de las cadenas laterales R de los aminoácidos definen una superficie o centro , capaz de interaccionar con otras moléculas.

La unión del centro activo a otra molécula es altamente y puede establecerse entre:

- Moléculas , como la asociación entre diferentes subunidades proteicas para formar fibrosas, laminares, etcétera.
- Moléculas , como la unión de los anticuerpos con los antígenos, la hemoglobina con el , las enzimas con sus sustratos, los receptores de la membrana con sus correspondientes mensajeros (hormonas, neurotransmisores, etcétera).

Gran parte de las proteínas son en agua e en alcohol y en disolventes de lípidos.

La es la pérdida parcial o total de los niveles de estructura superiores al primario, o conformación espacial. Variaciones del , cambios de , radiaciones y diversas sustancias pueden inducir esta propiedad de las proteínas. Esta puede ser: o irreversible .

Enviar

1.4. Funciones y clasificación



Bea ha terminado su cena en casa con los amigos y mientras lee un rato, antes de dormirse, se pregunta por qué las proteínas realizarán tantas funciones distintas.

Reflexiona

¿A quién obedecen las proteínas?

Pulse aquí

FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS

Función	Ejemplos	Acción
Reserva	Ovoalbúmina	Almacén de aminoácidos
	Gluteína (trigo)	Crecimiento de la semilla
	Ferritina	Almacena hierro en el bazo
Estructural	Colágeno	Forma tendones, huesos, cartílago, piel
	Elastina	Es un conectivo elástico entre células
	Queratina	Forma piel y derivados (pelo, plumas, uñas...)
	Mucoproteínas	Mucosidades, líquido sinovial
Hormonal	Insulina	Regula el metabolismo glucídico
	Hormona del crecimiento	Regula el metabolismo del calcio y fósforo
	Proteínas G	Comunicación entre células
Transporte	Hemoglobina	Transporta oxígeno en vertebrados
	Hemocianina	Transporta oxígeno en invertebrados
	Lipoproteínas	Transporta lípidos en la sangre
Defensiva	Inmunoglobulinas	Defensa inmunológica
	Fibrinógeno y trombina	Coagulación de la sangre
Contráctil	Actina	Contracción muscular en miofibrillas
	Miosina	Contracción muscular en miofibrillas
	Tubulina	Forma microtúbulos del citoesqueleto
Enzimática	Enzimas	Catalizadores en reacciones orgánicas

Imagen 19. Autor: Marisa Cabello Mena para este proyecto.

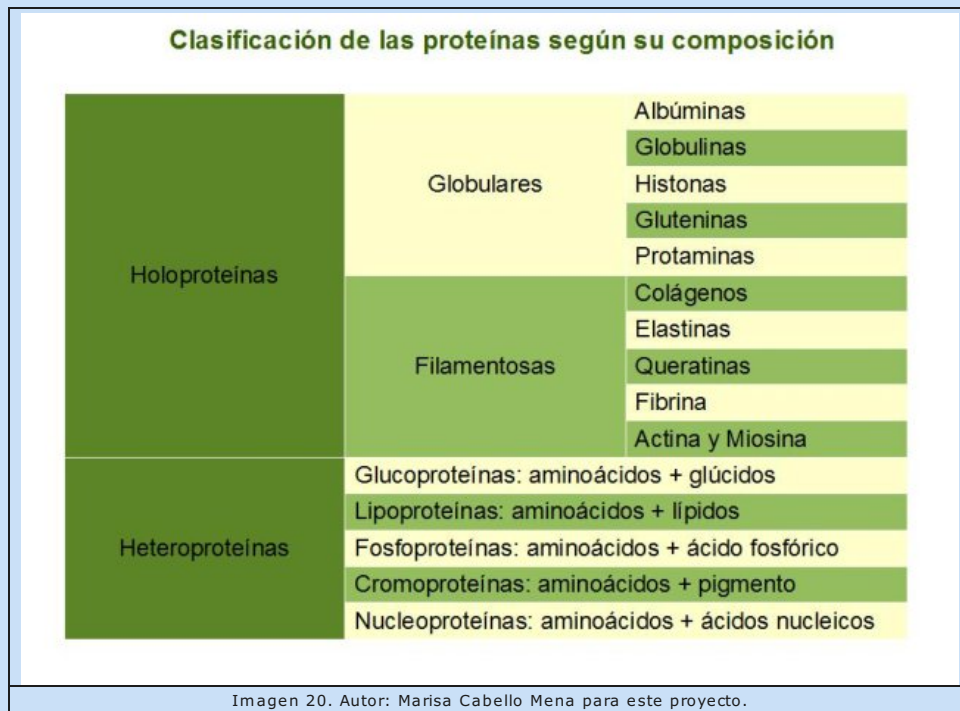
¡Qué descubrimiento! nuestro grupo sanguíneo puede cambiarse y ser donantes universales o grupo cero. Esto se consigue utilizando enzimas que cambian las proteínas que llevamos en la superficie de nuestros glóbulos rojos.



Importante

Una forma de clasificar las proteínas es a partir de su composición, encontrándose dos grupos:

- **Simple** u **holoproteínas**, formadas únicamente por aminoácidos.
- **Conjugadas** o **heteroproteínas**, con una parte proteica formada por aminoácidos y otra no proteica llamada grupo prostético.



Comprueba lo aprendido

Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.

- a) Solo una de estas proteínas —ovoalbúmina, insulina, hemoglobina, anticuerpos— tiene función transportadora:

Verdadero ☐ Falso ☐

- b) Las proteínas realizan una única función.

Verdadero ☐ Falso ☐

- c) La hemoglobina es una cromoproteína, cuyo grupo prostético es una sustancia coloreada de naturaleza porfirínica que contiene un catión de cobre.

Verdadero ☐ Falso ☐

- d) Las lipoproteínas son heteroproteínas cuyo grupo prostético es una sustancia lipídica.

Verdadero ☐ Falso ☐

2. Podemos ir más rápido: acelera la reacción



Bea conoce las proteínas y se ha quedado con unas en especial, las que tienen función enzimática. Estas actúan de la misma forma que cuando usamos un medio de transporte para ir más rápido a los sitios y con menos gasto de energía, son las que todos queremos, ¿no?

Son la clase de proteínas más numerosa y especializada y actúan como biocatalizadores de las reacciones químicas del metabolismo que tienen lugar en los seres vivos.

Reflexiona

¿Qué diferencia a las enzimas de los catalizadores no biológicos?

¿Se podrían producir las reacciones celulares —degradación de nutrientes, transformaciones energéticas, síntesis de moléculas orgánicas, regulación de procesos metabólicos, etcétera—, de manera espontánea, a la velocidad adecuada?

Pulse aquí

Importante

Para que una sustancia (sustrato) sea modificada y transformada en producto se necesita inicialmente una energía de activación que debilite las uniones entre sus átomos. Las enzimas biocatalizadoras disminuyen considerablemente esta energía facilitando que la reacción se produzca e impidiendo que la integridad de la célula se vea afectada.

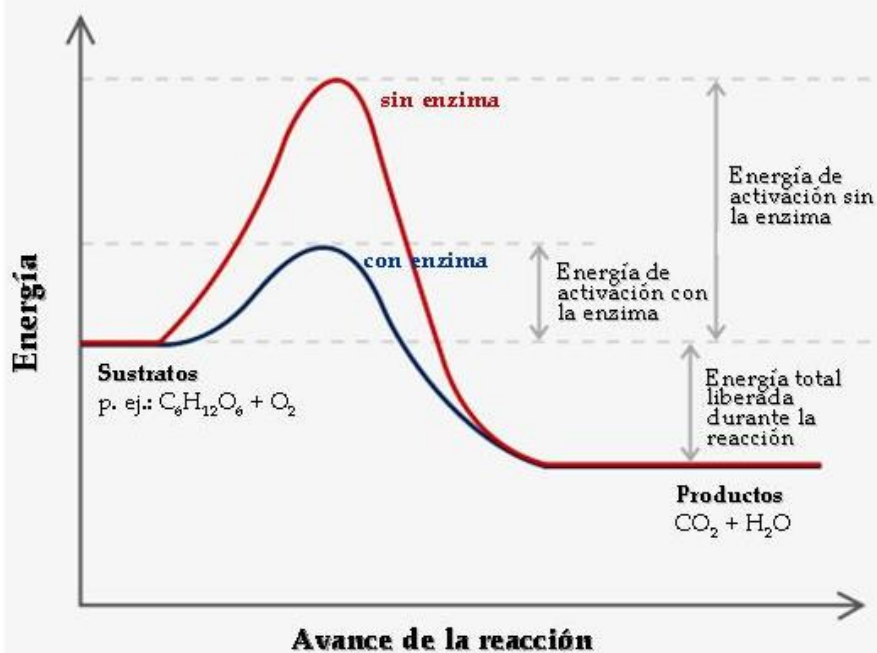


Imagen 21. Autor: Gonn . Dominio público

Curiosidad

En muchos **procesos industriales** se emplean enzimas; para saber en cuales, entra en [esta página](#).

Otra cosa interesante sobre las enzimas es su **nombre**. La gran mayoría reciben el nombre del sustrato sobre el que actúan, al que se añade, a veces, el nombre de la función que desempeñan seguido de la terminación **-asa**. Fácil de recordar, ¿no?

Ahí van algunos ejemplos:

- **Sacarasa** ; hidroliza la sacarosa.
- **Amilasa** ; hidroliza el almidón.
- **Lactato deshidrogenasa** ; cataliza la oxidación del ácido láctico.

Comprueba lo aprendido

Solo una prueba de tu comprensión y atención. Completa las frases siguientes.

¿Qué diferencia a las enzimas de los catalizadores no biológicos? Que son .

Los elementos que participan en una reacción enzimática son: , enzima y productos.

Según la nomenclatura de las enzimas, ¿cómo se llamaría una enzima que hidroliza lípidos en los procesos digestivos? .

Enviar

2.1. Enzima y naturaleza química. Clasificación



Importante

Las **enzimas** son los biocatalizadores celulares. Son proteínas específicas que catalizan las reacciones químicas que tienen lugar en las células —metabolismo celular—, acelerándolas hasta hacerlas casi instantáneas, sin consumirse. Sin la acción catalítica de los enzimas, las reacciones químicas serían tan lentas que el metabolismo celular no podría desarrollarse.

Reacción enzimática



Imagen 22. Autor: [Proyecto Biosfera](#) . Autorizado su uso educativo no comercial

Las enzimas son catalizadores, por lo que aceleran la velocidad de reacción, pero debe tratarse de reacciones espontáneas, en las que la energía de los sustratos sea mayor que la de los productos ya que los catalizadores no afectan a los parámetros termodinámicos —no varía la constante de equilibrio— sino solamente la cinética de la reacción.

Las enzimas actúan disminuyendo la energía de activación. Esta energía actúa como barrera cinética impidiendo el paso de los productos a los reactivos en condiciones fisiológicas, permitiendo que las moléculas sean estables. Los enzimas se combinan con los reactivos produciendo un estado de transición cuya energía de activación es menor que en la reacción no catalizada. Esto acelera enormemente la velocidad de formación de los productos. Cuando estos productos se forman, las enzimas se recuperan.

¿Cuál puede ser la característica que diferencia a las enzimas del resto de las proteínas?

Observa la siguiente imagen e intenta razonar cómo es su funcionamiento. Utiliza también los conceptos que ya has aprendido.

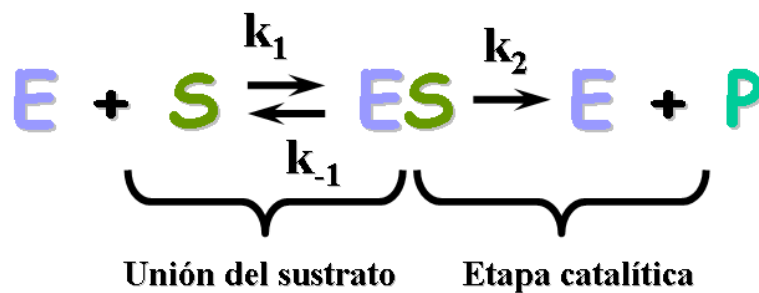


Imagen 23. Autor: [Gonn](#) . Licencia Creative Commons

Mostrar retroalimentación

Subiendo y bajando colinas energéticas. ¿Sabes por qué se emplea esta frase para las reacciones catalizadas enzímicamente?

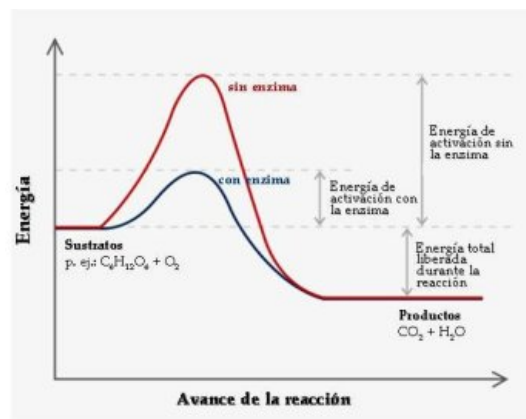


Imagen 24. Autor: [Gonn](#) . Dominio público

Mostrar retroalimentación

¿Serías capaz de enumerar las **propiedades de las enzimas** con la información que dispones?

Pulse aquí

Importante

Las enzimas pueden ser agrupadas, dependiendo de la acción que realizan, en las siguientes clases:

Clasificación de las enzimas

Enzima	Acción y ejemplos
Óxido-reductasas	Transferencia de electrones en reacciones de oxidación-reducción. Oxidasas e hidrogenasas intervienen en la cadena respiratoria
Transferasas	Transferencia de grupos funcionales entre sustratos. Transaminasas, fosfotransferasas, quinasas.
Hidrolasas	Reacciones de hidrólisis, frecuentes en procesos digestivos. Lipasas, glucosidasas, amidasas, fosfatasas.
Liasas	Rotura y soldadura de sustratos sin acción del agua. Desaminasas, descarboxilasas.
Isomerasas	Transforman un sustrato en otro, isómero del primero.
Ligasas o sintetasas	Unión de moléculas; necesitan ATP que suministre energía para el enlace.

Imagen 25. Autor Marisa Cabello Mena para este proyecto.

Comprueba lo aprendido

a) Las enzimas son:

- ☐ Proteínas.
- ☐ Biocatalizadores.
- ☐ Específicas.

Mostrar retroalimentación

b) Las enzimas actúan:

- ☐ Disminuyendo la velocidad de la reacción.

- ☐ Acelerando la velocidad de la reacción.
- ☐ Disminuyendo al energía de activación.

Mostrar retroalimentación

c) El resultado de la unión entre la enzima y el sustrato:

- ☐ Son los productos.
- ☐ Son los sustratos.
- ☐ Hace que se degrade la enzima.

Mostrar retroalimentación

2.2. Centro activo y cinética enzimática (I)



Importante

Las **enzimas** son altamente **específicas** para las reacciones que catalizan y poseen en su superficie una zona activa, como una especie de hendidura u oquedad, denominada **centro catalítico** o **centro activo**, a la que se adapta perfectamente la molécula de **sustrato** que presente la geometría complementaria a la conformación espacial del centro activo.

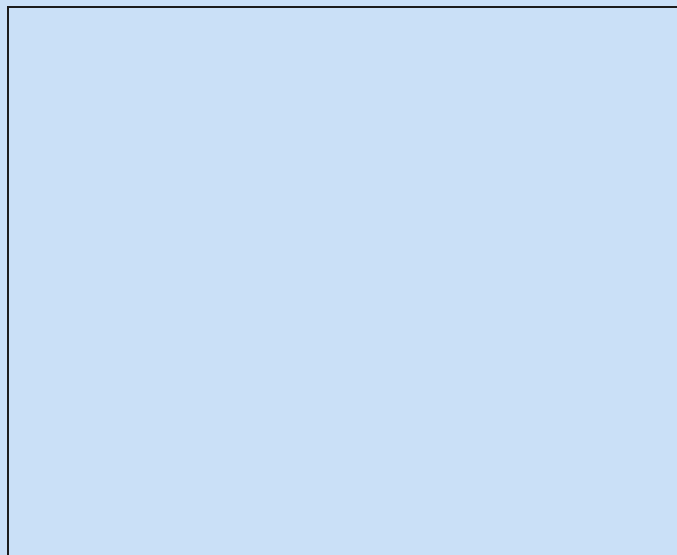
Las enzimas pueden realizar su función con los radicales de sus aminoácidos, aunque algunas necesitan además un componente no proteico llamado **cofactor**. El conjunto enzima-cofactor se conoce como **holoenzima**.

El cofactor puede ser:

- Un **ión metálico** (Fe^{2+} , Mg^{2+} , etcétera).
- Un compuesto orgánico llamado **coenzima**, como el NAD^+ y FAD o muchas vitaminas.

Si el cofactor —ión metálico o coenzima— está unido mediante enlace covalente a la parte proteica o **apoenzima** se le conoce como **grupo prostético**.

Esta sería su forma de actuar:





Imágenes 27 y 28. Autor: [Desconocido](#) . Autorizado su uso educativo no comercial

La unión de cada enzima con su sustrato sigue el modelo de **llave-cerradura** .

Cada enzima (cerradura) solo puede unirse (abrirse) con su correspondiente sustrato (llave). Aunque en realidad el centro activo de una enzima no es tan rígido como una cerradura, más bien se parece a un guante que adopta la forma de la mano después de ponerlo. Seguiría así un modelo llamado de **acoplamiento inducido** , siendo el sustrato el que induce el cambio conformacional específico del centro activo; en este modelo, tanto el sustrato como la enzima se distorsionan.

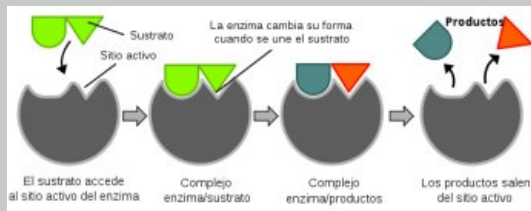


Imagen 29. Autor: [Timm Vickers](#) . Dominio público

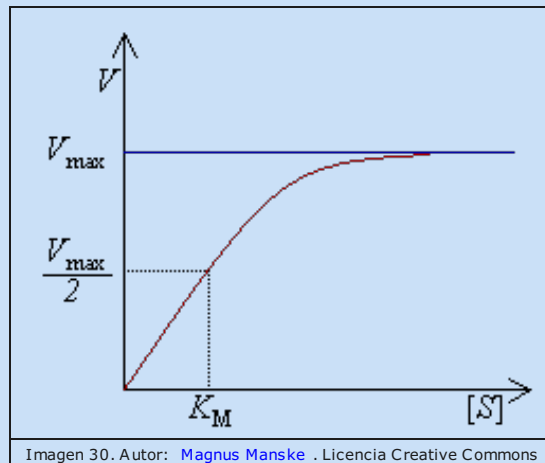
Bea tiene ya mucha información sobre las proteínas y las enzimas, sus lecturas y su afán investigador han hecho que sea ya casi una experta en esta biomolécula. Pero como siempre que uno estudia, surgen dudas y esta vez Bea ha pensado... ¿tendremos enzimas en la boca?, ¿cuáles serán?, ¿qué función realizarán?

Efectivamente, Bea tiene una duda razonable. Es cierto que en la boca tenemos enzimas que nos ayudan a defendernos de, por ejemplo, las bacterias. Para ayudar a Bea en sus investigaciones, puedes acceder a esta [información](#) .

1. ¿Qué enzima es la que aparece en nuestra saliva?
2. ¿Cómo puede actuar esta enzima para destruir las bacterias?

Mostrar retroalimentación

Importante



La **cinética enzimática** estudia la velocidad a la que transcurren las reacciones catalizadas por enzimas.

La actividad enzimática se expresa como la cantidad de moléculas de sustrato que cada molécula de enzima es capaz de transformar por unidad de tiempo, o la cantidad de moléculas de producto que es capaz de producir por unidad de tiempo.

La cinética enzimática responde a la **ecuación de Michaelis-Menten**, la gráfica está representada en la imagen de arriba. A partir de ella se calcula la **constante de Michaelis** (K_M), un parámetro característico de cada enzima y que se define como la concentración de sustrato a la cual la velocidad de la reacción es la mitad de la velocidad máxima (V_{max}).

Esta constante hace referencia a la afinidad de la enzima por el sustrato. Por ejemplo, una enzima con un valor de K_M bajo significa que consigue una alta eficacia catalítica aún a bajas concentraciones de sustrato.

Ecuación de Michaelis-Menten

$$v = v_{max} \frac{[S]}{K_M + [S]}$$

La velocidad (v) de una reacción enzimática aumenta linealmente conforme se eleva la concentración de sustrato (S) hasta alcanzar la velocidad máxima (v_{max}).

Imagen 31. Autor: Marisa Cabello Mena para este proyecto.

La **velocidad** de una reacción enzimática depende de varios factores:

- Concentración de sustrato.
- pH.
- Temperatura.
- Activadores.
- Inhibidores.

2.3. Centro activo y cinética enzimática (II)



Curiosidad

La determinación de la actividad de ciertas enzimas se utiliza en clínica para **diagnosticar** determinadas **patologías** ; por ejemplo, niveles elevados de actividad de las transaminasas pueden indicar enfermedades hepáticas.

Completa las frases.

Cada enzima tiene una temperatura para su actividad, en general, un de la temperatura favorece la movilidad de las moléculas al tener mayor energía cinética. Una temperatura puede llegar a detener la acción de las enzimas.

Cada enzima tiene un valor de pH para el que mantiene la máxima actividad, normalmente cerca de la , menos para algunas como las digestivas que funcionan en medios de pH muy .

En general, un aumento del sustrato la reacción enzimática al facilitar la formación del enzima-sustrato.

Algunas enzimas pueden actuar como de la acción de otras.

Los son sustancias que disminuyen o aceleran la enzimática.

Enviar



Imagen 32. Autor: [Evaristo Domínguez](#) . Dominio público



Imagen 33. Autor: [Dungodun](#) . Dominio público

Bea tiene encima de la mesa su nuevo libro, ahora está leyendo sobre el descubrimiento de América. En él cuentan las largas jornadas de los marineros en el océano. Lejos de tierra durante tanto tiempo, y sin sistemas de refrigeración adecuados, solamente tenían como conserva la salazón de carnes y grasas. La fruta y la verdura frescas, tan necesarias en una dieta equilibrada, eran un lujo exclusivo de unos pocos en los primeros días de viaje.

Describe esta obra con todo detalle como algunos marineros enfermaban de **escorbuto** —enfermedad producida por carencia grave de la vitamina C o ácido ascórbico—. Los enfermos presentaban gingivitis, encías sangrantes, piel áspera, reseca y descamativa, dificultad en la cicatrización de las heridas, tendencia a la formación de hematomas, sangrados nasales, debilitamiento del esmalte de los dientes, dolor de las articulaciones, anemia, aumento de peso por un metabolismo lento.

¡Madre mía —piensa Bea— qué pena!, ¡los pobres quedaban fatal!

Esta enfermedad está dentro de las llamadas **avitaminosis**, producidas por una carencia grave de vitaminas. Hay otras enfermedades, relacionadas con las vitaminas, que están producidas por una deficiencia parcial —hipovitaminosis— y otras por exceso —hipervitaminosis—. Las vitaminas ya las he conocido cuando investigué sobre los lípidos, pero en el grupo de estas nuevas biomoléculas —proteínas, enzimas— también están presentes, algunas son coenzimas. Su composición es muy variada, actúan como biocatalizadores y son imprescindibles para el desarrollo normal del organismo y para su conservación.

Voy a seguir investigando sobre las vitaminas, creo que tienen unas características especiales y además se clasifican en dos grandes grupos. Así, cuando termine, comprenderé algo mejor lo que pasó en el descubrimiento de América.

Estos enlaces me ayudarán:

- [Enlace 1.](#)
- [Enlace 2.](#)

Después de colaborar con Bea, ¿puedes decir cuáles son las características de las vitaminas y hacer una clasificación de las mismas?

Mostrar retroalimentación

Mostrar retroalimentación

2.4. Inhibición enzimática



Imagen 35. Autor: [Karl Ragnar Gjertsen](#) . Licencia Creative Commons

Bea ha estado el fin de semana en el campo con su familia. Dando un paseo, han recogido agua de una charca y su tío Pedro ha gritado: "¡Cuidado, es una chupasangres!".

¿Pero qué es eso?

Su tío Pedro les ha contado que es una sanguijuela, un anélido que se alimenta de sangre (hematófago), y que vive en las aguas dulces de todo el mundo. También les ha dicho que antiguamente se usaban con fines medicinales, para hacer sangrados. El animal presenta una boca con tres mandíbulas y una ventosa con la que succiona la sangre de la víctima. En su saliva contiene compuestos anestésicos —que evitan que la víctima lo detecte y trate de eliminarla—, un vasodilatador —para ensanchar los vasos y captar mejor la sangre— e hirudina —péptido anticoagulante—.

Tío Pedro nos ha dicho que si alguna vez tenemos una agarrada a la piel no tratemos de arrancarla, alguna parte del animal podría quedar en la piel y producir infecciones, que es mejor usar zumo de limón, sal, alcohol,

orina y otros productos irritantes, que hacen que se desprendan.

Entre los compuestos que tío Pedro ha nombrado en la saliva de la sanguijuela se encuentra la hirudina. ¿Qué ventaja obtienen los animales como las sanguijuelas al tener hirudina en sus glándulas salivares?

Mostrar retroalimentación

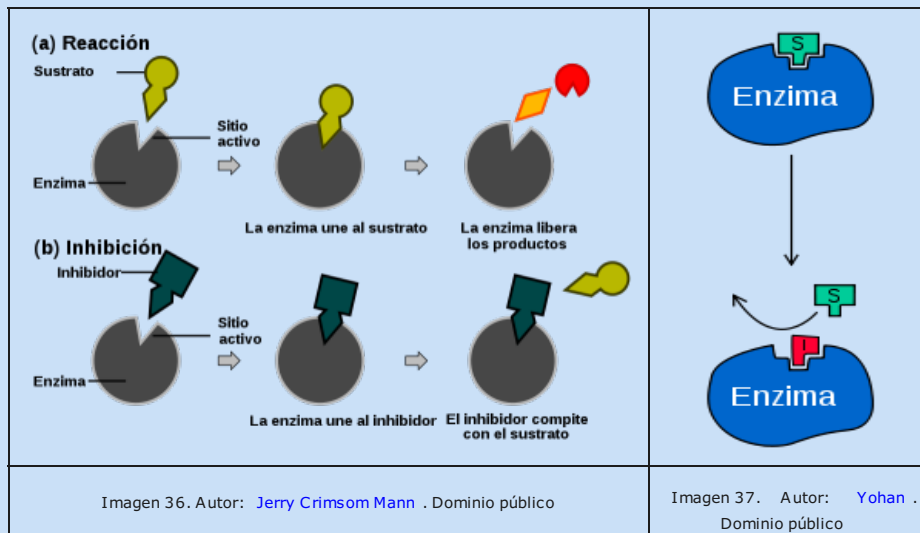
Importante

La **inhibición enzimática** consiste en la disminución o anulación de la velocidad de la reacción catalizada.

Los **inhibidores** son, por tanto, sustancias específicas que disminuyen parcial o totalmente la actividad de una enzima.

La inhibición puede ser de dos tipos:

- **Irreversible** ; cuando el inhibidor o veneno modifica o destruye el enzima, que no puede recuperar su actividad;
- **Reversible** ; cuando el complejo enzima-inhibidor puede disociarse y volver a actuar. Existen dos tipos:
 - **Inhibición competitiva** ; el inhibidor compite con el sustrato por el centro activo, ya que es una molécula parecida y el enzima no es capaz de distinguir entre uno y otro,
 - **Inhibición no competitiva (enlace)** ; el inhibidor no compite con el sustrato ya que no interacciona con el centro activo, sino con otros grupos del enzima. Suele producir una modificación en la conformación del enzima que impide la unión del sustrato, pudiendo, además, unirse al enzima o al complejo enzima-sustrato.



Curiosidad

En el mundo agrícola, la utilización indebida de **insecticidas organofosforados** —si pinchas en el enlace verás una lista de algunos de ellos—, ha provocado numerosos accidentes mortales, ya que estos actúan como inhibidores irreversibles o venenos de la enzima acetilcolinesterasa, haciendo que se produzca parálisis muscular en los afectados.

Toda esta información es bastante complicada y me cuesta aprender el nuevo vocabulario, creo que me ayudarán estos ejercicios que he encontrado, aunque algunos son de cierta dificultad:

- [Ejercicios variados.](#)
- [Crucigrama sobre enzimas.](#)

¿Me ayudas a resolverlos?

Bea está aprendiendo mucho sobre las proteínas, pero también sabe que su síntesis, así como su función, están controladas por unas moléculas también fundamentales para los seres vivos, los ácidos nucleicos. En la televisión, es fiel seguidora de las series de forenses e investigaciones policiales y siempre le ha llamado la atención cómo descubren al asesino estudiando su ADN.

Entre sus lecturas preferidas están las biografías de varios científicos que dedicaron su vida a descubrir aspectos de estas moléculas, como Watson, Crick, Franklin, etcétera.

Bea está muy sorprendida con el trato que la historia ha dado a Rosalind Franklin: ¡fue ella la que descubrió la estructura del ADN! y no se lo reconocieron, ¡es injusto! Bea piensa que en el trabajo científico, como en otros campos de la vida, también se dejan sentir las dificultades que las mujeres han tenido para estudiar y ocupar puestos de importancia.

Le ha gustado mucho este reportaje sobre el ADN, ¿quieres verlo con ella y sacar tus propias conclusiones?



[La estructura del ADN: Watson y Crick](#) por [raulespert](#)

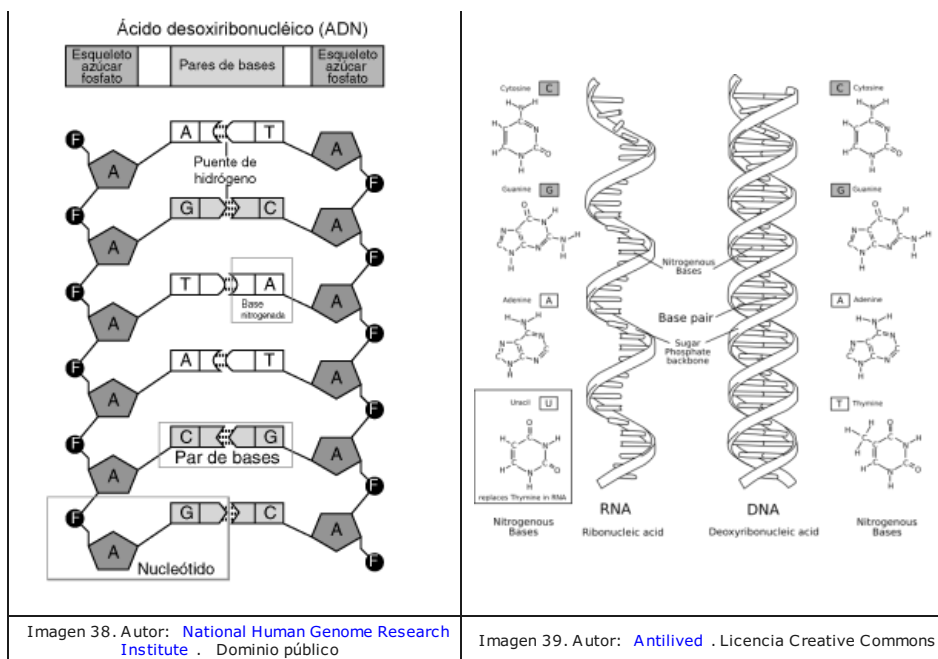
3.1. Ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos son biomoléculas complejas con carácter ácido, que desempeñan funciones biológicas de trascendental importancia en todos los seres vivos. Contienen información genética, es decir, la información codificada que permite a los organismos desarrollar sus ciclos biológicos, desde su nacimiento a su muerte.

Existen dos tipos de ácidos nucleicos, el **ADN o ácido desoxirribonucleico** y el **ARN o ácido ribonucleico**.

En el vídeo aparece la estructura del ADN, observa cómo está formado.





Importante

Los **ácidos nucleicos** son biopolímeros formados por otras subunidades más pequeñas o monómeros, denominados **nucleótidos**.

Los nucleótidos, a su vez, están constituidos por tres tipos de moléculas:

- Una **pentosa**, en forma cíclica, que puede ser ribosa o desoxirribosa;
- Un **ácido fosfórico**, en forma de grupo fosfato.
- Una **base nitrogenada** derivada de la purina —adenina y guanina— o de la pirimidina —timina, citosina y uracilo—.

Cuando no existe el grupo fosfato, sino sólo una base y una pentosa, se habla de **nucleósidos**.

Formación de nucleótidos de Adenina

Image 40. Autor: [Proyecto Biosfera](#) . Autorizado su uso educativo no comercial

Para saber más

Algunos nucleótidos se presentan libres en la naturaleza y forman parte de otras moléculas que no son los ácidos nucleicos. En estos casos, el grupo fosfato de los nucleótidos-5'-monofosfato puede unirse a otros grupos y dar lugar a las siguientes combinaciones:

- Forma enlaces ricos en energía con otros grupos fosfato para dar lugar a los nucleótidos difosfato y trifosfato, como el **ADP** y el **ATP**, capaces de transportar la energía almacenada en sus enlaces, que son fácilmente hidrolizables.
- Establece un segundo enlace éster con el -OH en posición 3', lo que origina un puente intramolecular y da lugar al **AMP cíclico** (**AMPc**), que es una molécula señalizadora que actúa de segundo mensajero entre las moléculas extracelulares portadoras de información —neurotransmisores, hormonas, prostaglandinas, etcétera— y en el interior de la célula.
- Si se une al grupo fosfato de otro mononucleótido o de otra sustancia, da lugar a los nucleótidos no nucleicos que actúan de coenzimas. Por ejemplo, la **coenzima A**, el **FAD** (flavín adenín dinucleótido) y el **NAD⁺** (nicotín adenín dinucleótido).

Ejercicio resuelto

Una prueba de tu capacidad de comprensión y atención. ¡A por ella!

¿Sabrías decir a qué moléculas corresponden las siguientes imágenes?

Imagen A

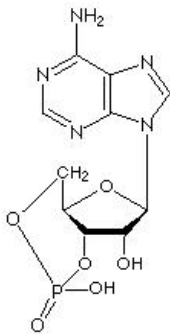


Imagen 41. Autor : [Federico Rivadeneira](#) . De dominio público

Imagen B

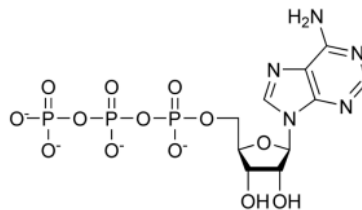


Imagen 42. Autor: [Cacycle](#) . Licencia Creative Commons

Imagen C

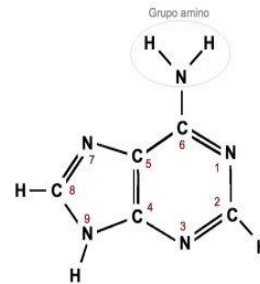


Imagen 43. Autor: [Deneapol](#) . Dominio público

Mostrar retroalimentación

3.2. ADN: estructura e importancia biológica (I)



Importante

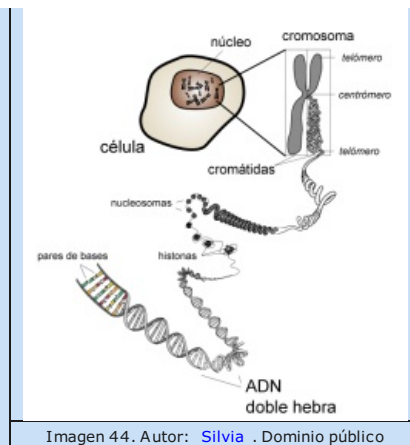


Imagen 44. Autor: [Silvia](#) . Dominio público

El **ADN** es un ácido que se encuentra fundamentalmente en el **núcleo** , en las **células eucariotas** , aunque también está presente en orgánulos como mitocondrias y cloroplastos.

Está formado por **desoxirribonucleótidos** en los que se encuentran las bases: **adenina** , **guanina** , **citosa** y **timina** .

El ADN, salvo en algunos virus, está formado por **dos cadenas** de **polinucleótidos** unidas entre sí a nivel de sus bases nitrogenadas mediante puentes de hidrógeno. Esta unión es siempre de adenina con timina, mediante dos enlaces de hidrógeno, y citosina con guanina mediante tres enlaces.

El ADN es la molécula que almacena la información genética y esta debe repartirse a partes iguales entre las células hijas. Antes de este reparto el ADN debe duplicarse o replicarse. Observa el vídeo y trata de identificar los componentes fundamentales de esta molécula.



Curiosidad

Las moléculas de ADN son muy largas; en las bacterias llegan a 1 mm, en la mosca *Drosophila* alcanza hasta 13 cm y en humanos el total de ADN de una célula llega a medir unos dos metros.

Observa este vídeo en el que de una manera sencilla se refleja la estructura del ADN:





Actividad

El **ADN** es otra de las moléculas, al igual que las proteínas, que presentan varios **niveles de estructuración**. Así en el ADN distinguimos:

- **Estructura primaria** ; dada por la secuencia de nucleótidos que forman la cadena,
- **Estructura secundaria** ; presenta las siguientes características, según el modelo de Watson y Crick;
 - La molécula de ADN está formada por **dos cadenas antiparalelas** y **equidistantes** de nucleótidos, enrolladas en espiral en torno a un eje imaginario, formando una **hélice dextrógira** ;
 - Las bases nitrogenadas se encuentran en el interior de la hélice unidas mediante puentes de hidrógeno y siempre emparejadas A con T y C con G, lo que hace que las dos **cadenas** sean **complementarias** . Las desoxirribosas y los grupos fosfatos que las unen se encuentran en el exterior de la hélice, de modo que las cargas negativas de los grupos fosfato interaccionan con los cationes presentes en el nucleoplasma, dando más estabilidad a la molécula;
 - Los planos que contienen las bases emparejadas son perpendiculares al eje de la hélice;
 - La hélice tiene un diámetro de 2 nanómetros, los nucleótidos están separados por 0,34 nm y en cada vuelta de la hélice hay 10,5 pares de nucleótidos,
- **Estructura terciaria** ; hace referencia al enrollamiento en torno a proteínas de las grandes moléculas de ADN, enrollamiento necesario para reducir espacio en la célula y como mecanismo para preservar su transcripción.

3.3. ADN: estructura e importancia biológica (II)



Una cadena de ADN tiene la secuencia y orientación siguientes: 5'...AGGCTGCTTAATTGCCGTA...3'.

Escribe la secuencia y orientación de su cadena complementaria.

La secuencia y orientación de su cadena complementaria sería:

'... ... '

Enviar

Reflexiona

En la actividad anterior solo se representan las bases nitrogenadas de los nucleótidos. ¿Cuál es la razón?

Pulse aquí

Comprueba lo aprendido

¡Otra prueba de lo que has aprendido! Actúa como un gran investigador forense y averigua cuál de estas secuencias es incorrecta para un ADN.



- ☐ ...ATTCGGTCCATCG...
- ☐ ...GCTAAACGTAAA...
...GCATTTGCATTT...
- ☐ ...AGGTCUTT CGGAA...
...TCCAGAAAGCCTT...

El ADN puede sufrir **desnaturalización**. Ésta consiste en la ruptura de los puentes de hidrógeno entre las bases, separándose las dos cadenas del ADN sin que sean afectados los enlaces covalentes fosfodiéster de los esqueletos de polidesoxirribosa-fosfato. El proceso lo provoca:

- Un **incremento de temperatura**.
- La variación del **pH**.
- Cambios en las **condiciones iónicas** del medio.

La desnaturalización del ADN es un proceso **reversible** (**renaturalización**).

La renaturalización tiene como principal aplicación la **hibridación**, técnica fundamental en la tecnología de ADN recombinante —como la reacción de la polimerasa en cadena o PCR—, importante en ingeniería genética o biotecnología. La hibridación permite conocer el grado de relación genética o **parentesco entre dos ADN** y aplicarlo al estudio de las relaciones filogenéticas entre las especies. También es importante en la elaboración de **sondas**, que son fragmentos de ADN monocatenarios, de secuencia conocida, que permiten la detección de fragmentos de ADN que son complementarios.

3.4. ARN: tipos, estructura y función



El ADN no está solo en la célula, le acompaña otro ácido llamado ARN; ambos están relacionados y colaboran en el denominado dogma central de la biología molecular.

Dogma central de la biología molecular

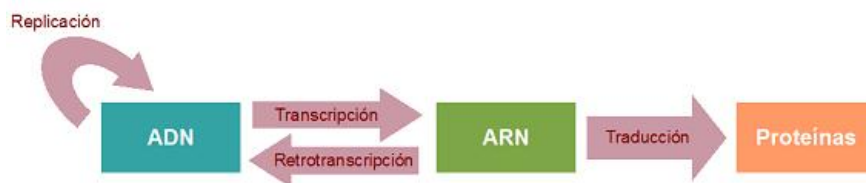


Imagen 45. Autor: Marisa Cabello Mena para este proyecto.

Actividad

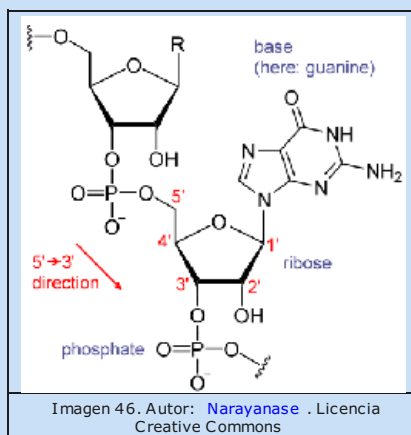


Imagen 46. Autor: Narayanase . Licencia Creative Commons

El **ARN** está formado por **ribosa**, **ácido fosfórico** y las bases nitrogenadas **adenina**, **guanina**, **citocina** y **uracilo**, con ligeras excepciones de otras bases. Estos componentes se unen mediante enlaces fosfodiéster en sentido 5'→3', como en el ADN. El ARN es casi siempre **monocatenario**, excepto en algunos virus en los que es bicatenario.

Existen tres tipos de ARN:

- **Mensajero** (ARNm); portador de la información de un o los genes para la síntesis de proteínas, de forma lineal.
- **Ribosomal** (ARNr); asociado a proteínas forma los ribosomas, tiene estructura secundaria de doble hélice en algunas zonas.
- **Transferente** (ARNt); se ocupa de transportar los aminoácidos hasta los ribosomas donde se sintetizan las proteínas.

Todos ellos se forman a partir de una porción de una de las cadenas del ADN que sirve de molde.

El ARN actúa como el intermediario necesario para traducir la información genética contenida en el ADN en la síntesis de proteínas funcionales.

Encontrarás más información [aquí](#).

Estas dos moléculas son bastante parecidas. ¿Sabrías enumerar sus principales diferencias?

Pulse aquí

Bea tiene la sensación de que cada vez le gusta más la Ciencia y que esta le ofrece un gran número de posibilidades de futuro. Ahora ve que las aplicaciones del estudio de los ácidos nucleicos son también atractivas, en estudios forenses, de paternidad, clonación, transgénicos o el proyecto genoma humano.

Todas estas aplicaciones las verás más adelante, pero para abrir más vuestros ojos al mundo científico, vamos a describir alguna de ellas.

Actividad

Proyecto genoma humano (PGH) se inicia a principios de los años 90 del siglo pasado y terminó en 2003. Con él se ha conseguido completar la secuencia de nucleótidos del genoma humano —genoma es el conjunto de genes de un organismo—. En el genoma se encuentra toda la información biológica que identifica a una especie, por lo que conocer el genoma significa:

- Averiguar la secuencia completa de bases nitrogenadas de su ADN.
- Localizar y situar todos los genes en los cromosomas.
- Comprender las relaciones entre los genes.
- Descubrir e identificar genes antes desconocidos.

Actualmente, se sabe que:

- Nuestro genoma haploide —los 23 cromosomas distintos que poseemos— contiene 3.000 millones de pares de bases nitrogenadas, lo que equivale a unos 30.000 genes.
- El 99,9% de estos genes son iguales en todas las personas; las diferencias entre nosotros no representan más del 0,1% del genoma.
- El 90% del genoma no tiene una función codificante conocida, lo cual no significa que no posea funciones como la regulación genética o diversos controles biológicos. Asimismo, se piensa que parte de este ADN puede corresponder a restos genéticos de nuestros antepasados.

Dispones de más [información](#) sobre este proyecto en esta página.

¿Podrías decir cuáles son las aplicaciones del proyecto genoma humano?

Pulse aquí

4.1. Preguntas y respuestas



Bea ha encontrado a su tío Pedro, han estado leyendo el periódico y se han fijado en una noticia sobre un asesinato.

—¿Has visto qué violencia, Bea? Es una pasada lo que le han hecho a este señor; la policía aún no ha capturado al asesino, pero tienen algunas pistas. Dicen que se han encontrado en la casa restos de sangre, pelo y colillas, parece que son del asesino.

—Tío Pedro, espero que la policía científica pueda resolver el caso. Ahora hay muchas técnicas basadas en el análisis del ADN para identificar a las personas.

¿Sabes cómo la policía identifica a los supuestos implicados en un hecho delictivo (víctimas o delincuentes)?



Imagen 47. Autor: [Labor omnia vincit](#) .
Dominio público

Mostrar retroalimentación

Curiosidad

He seguido hablando con mi tío Pedro y como siempre me ha contado historias interesantes. Ahora me dice que una de las vecinas del pueblo, María, la hija de Alonso, la que se fue a estudiar a Sevilla, ha venido para hacerse unas pruebas de paternidad. Hay una herencia de por medio y ella dice que es hija de Pablo, el dueño de los viñedos, y no de Alonso como siempre se había creído. Por lo visto su madre le dejó una carta al morir revelándole el secreto y avisándola de que podía reclamar la parte de la herencia que le corresponde, la legítima. María nunca había pensado hacerlo, pero la crisis está haciendo que lo pase mal y ha decidido dar el paso. Aún no se sabe nada de los resultados.

—Tengo ganas de saber cómo se harán estas pruebas, voy a investigar —comenta Bea.

Mira la [información](#) que ha encontrado Bea.

—¡Anda! este caso es el mismo que el de muchos famosos, ¡ [mira](#) !

Después de leer la información y ver algunas páginas de Internet, la verdad es que parece muy fácil obtener muestras de ADN para hacer esta prueba. Simplemente, con un bastoncillo y rozando la cavidad interna de la boca ya tenemos la muestra de saliva, que se analizará luego en el laboratorio. Hay muchos laboratorios donde puede hacerse esta prueba.

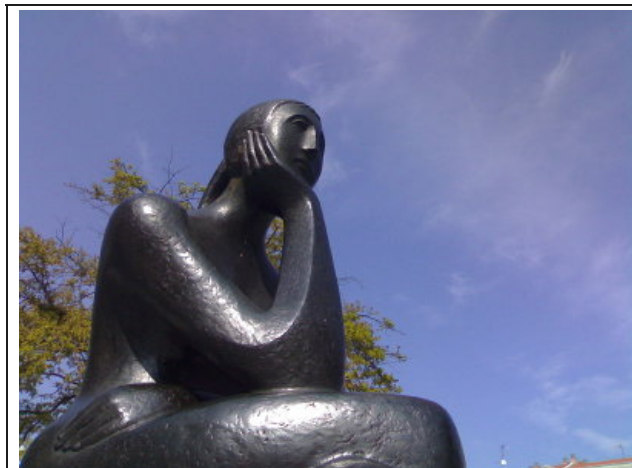


Imagen 48. Autor: [ÁWá](#) . Licencia Creative Commons

Bea se acuesta y coge su libro, y mientras lee intenta reflexionar sobre lo aprendido en estos días:

- Las posibilidades del estudio del ADN de un individuo son infinitas y aún quedan muchas cosas por descubrir. Ahora sé que son tan útiles en estudios históricos o arqueológicos como en la investigación de enfermedades.
- La aparición de la ingeniería genética ha supuesto un gran cambio en la biología. Actualmente es posible modificar la

información genética y adaptarla a nuestros intereses. Las implicaciones de esta posibilidad son enormes, abren una vía de esperanza para muchas personas en el tratamiento de enfermedades genéticas y la modificación de plantas y animales mejora en calidad y cantidad las fuentes de alimentación.

● Pero la ingeniería genética también genera muchos temores y dilemas éticos: las bacterias y los virus, podrían diseminarse desde los laboratorios y llegar hasta el ser humano. Asimismo, algunos genes indeseables podrían transferirse de unos organismos a otros. La utilización de determinadas técnicas conlleva dilemas éticos, pues algunos de ellos afectan a la vida humana, como la posibilidad de interferir en las características de los hijos y la obtención de seres humanos modificados.

● ¿Es posible realizar todas las modificaciones que se nos ocurran? Algunos experimentos pueden tener consecuencias peligrosas, habrá que encontrar un equilibrio entre el avance científico y los riesgos que suponen las nuevas tecnologías. ¿Cuáles deben ser los límites de la investigación? ¿Quién establece esos límites?

En la respuesta a estas cuestiones debe implicarse toda la sociedad.

Bea ha terminado rendida después de su sesión de gimnasio y antes de leer dos líneas se ha quedado dormida.