

# EL METABOLISMO Y LAS ENZIMAS

## 1. EL METABOLISMO

## 1.1. EL CONCEPTO DE METABOLISMO

El **metabolismo** es el conjunto de **reacciones químicas** catalizadas por **enzimas** que se producen en una **célula** u organismo.

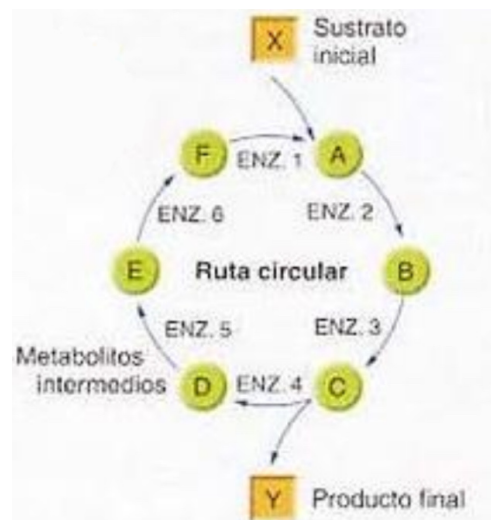
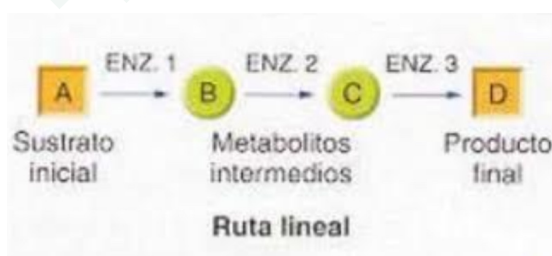
Están coordinadas por el sistema nervioso central o bien por tropismos: respuestas a agentes externos

Distinguimos:

- **Anabolismo:** construcción moléculas complejas
- **Catabolismo:** degradación " " → moléculas sencillas

Características generales:

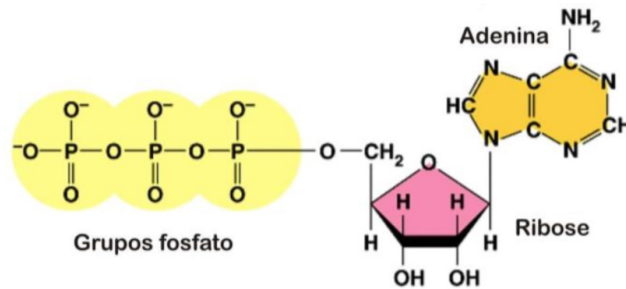
- Las reacciones están catalizadas por **enzimas**.
  - Las reacciones están **reguladas y coordinadas**: *hormonas*
  - Las **reacciones metabólicas** están generalmente ordenadas en **series o secuencias**: *vías metabólicas*
  - El metabolismo de las células eucariotas presenta un elevado grado de **compartimentación**: *partes*
  - **Algunos procesos metabólicos** tienen lugar **fuera de la célula**: *degradación alcohol (saliva) especializadas*
  - Se define como **vía metabólica** al conjunto de reacciones donde **un sustrato (S) acaba en un producto (P)**.
  - Las reacciones metabólicas pueden ser:
    - **Lineales**: *glucólisis*
    - **Cíclicas**: *ciclo de Krebs*
- } *respiración celular*
- 



## 1.2. EL ADENOSÍN TRIFOSFATO (ATP)

El ATP es un nucleótido de gran importancia en el metabolismo. Sus principales características son:

- Composición química:  $3 \text{ (P)} + \text{ribosa} + \text{adenina} \Rightarrow \text{ATP}$



ADP: 2 (P)

AMP: 1 (P)

- Función: moneda energética
- Funcionamiento en la transferencia de energía:  $\text{ADP} + \text{P}_i + \text{energía} \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$
- Síntesis en la célula animal: mitocondrias (fosforilación oxidativa)
- Síntesis en la célula vegetal: mitocondrias y cloroplastos (fotofosforilación)

## 1.3. TRANSPORTADORES DE ELECTRONES

En el metabolismo, hay reacciones de oxidación-reducción en las que se transfieren electrones en forma de átomos de hidrógeno, es decir, asociados a un protón ( $\text{H}^+$ ).

Existen nucleótidos, como el NAD, el NADP i el FAD, que actúan como coenzimas en reacciones de oxidación-reducción, funcionando como transportadores de electrones (hidrógenos). De este modo, se pueden encontrar tanto en su forma oxidada ( $\text{NAD}^+$ ,  $\text{NADP}^+$ ,  $\text{FAD}^+$ ) como en su forma reducida ( $\text{NADH}$ ,  $\text{NADPH}$ ,  $\text{FADH}_2$ ). En este caso, habrán captado átomos de hidrógeno liberados por las moléculas que se oxidan i los transfieren a las moléculas aceptoras, que se reducen. Esta transferencia libera una gran cantidad de energía que esta almacenada en los enlaces de los cuales formaban parte.

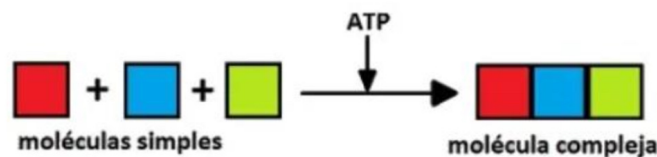
## 1.4. EL ANABOLISMO

Denominada también **fase constructiva o biosintética**.

Es el conjunto de reacciones y procesos metabólicos, generalmente de **reducción**, en los cuales se **sintetizan moléculas complejas** a partir de **moléculas más sencillas** (inorgánicas u orgánicas).

La **reducción** consiste en que una molécula sencilla **coja  $H^+$**  (que provienen de la oxidación del NAD y el FAD) y electrones, junto con otras moléculas, y se **convierta** en una **molécula más compleja**.

Son procesos **divergentes** (un mismo sustrato puede originar diferentes productos) y **endotérmicos** (consumen ATP i oxidan NADH o NADPH).



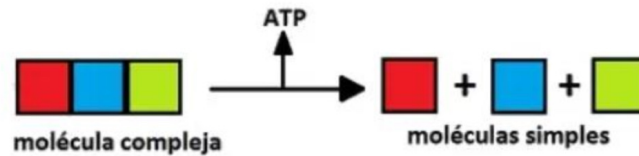
Podemos distinguir entre:

- **Anabolismo heterótrofo:**
  - Se da en **todas las células** y organismos, tanto si son **autótrofos** como **heterótrofos**.
  - **Necesita energía**, la cual es aportada por la **respiración celular**.
  - Utiliza **moléculas sencillas** que provienen del catabolismo. *→ moléculas complejas*
- **Anabolismo autótrofo:**
  - Se da en los **organismos autótrofos**: *plantas verdes y algas*
  - **Sintetiza moléculas orgánicas simples** a partir de **moléculas inorgánicas**, gracias a la entrada de **energía exterior**. *→ luz solar*
  - Ejemplos: *fotosíntesis y quimiosíntesis*.

## 1.5. EL CATABOLISMO

Denominada también fase degradativa.

Es el conjunto de reacciones y procesos metabólicos de degradación. Se trata de procesos oxidativos (se liberan  $H^+$  i se obtienen NADH) y exotérmicos (se obtiene ATP).



Comprende dos tipos de reacciones o procesos:

- Reacciones de rotura por hidrólisis de polímeros o moléculas complejas con tal de obtener moléculas más sencillas. El objetivo no es obtener energía sinó obtener moléculas orgánicas más pequeñas que posteriormente...
  - Serán oxidadas en la respiración celular para obtener energía.
  - Se utilizarán para el anabolismo.
- Procesos catabólicos de oxidación de moléculas orgánicas sencillas, como monosacáridos y ácidos grasos para obtener energía, la cual servirá para realizar funciones biosintéticas, contráctiles y de transporte a través de membrana.

Podemos distinguir tres tipos de catabolismo energético, según cual sea el aceptor final de los  $H^+$ :

- Respiración celular aeróbica: en células eucariotas y bacterias. A.F:  $O_2 \rightarrow H_2O$
- Respiración celular anaeróbica: en algunas bacterias. A.F: compuesto inorgánico ( $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ , ...)
- Fermentación: en algunas bacterias y levaduras, en eucariotas. A.F: compuesto orgánico
  - ↳ alcohólica y láctica.

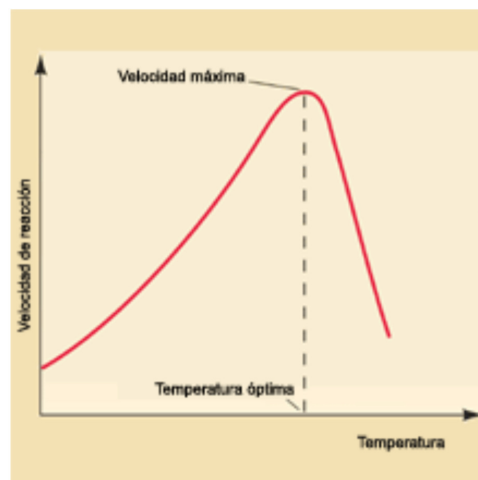
## 2. LAS ENZIMAS

### 2.1. CARACTERÍSTICAS

- Se definen como **biocatalizadores** y son los responsables de las **reacciones metabólicas**.
- Son **proteínas globulares solubles en H<sub>2</sub>O** que pueden actuar tanto a **nivel intracelular** como a **nivel extracelular**.
- Como catalizadores, **no alteran el producto final** de la reacción, sino que intervienen en la reacción **sin sufrir ninguna modificación**.
- Son **específicos**: *solo actúan en 1 tipo de reacción concreto.*
- Hacen que las reacciones químicas se realicen a **grandes velocidades en temperaturas bajas**.
- **Controlan las reacciones** donde intervienen evitando un gasto excesivo de energía y sustrato: *regulación*
- Permiten la **coordinación de los diferentes procesos metabólicos**.

### 2.2. FACTORES QUE MODIFICAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

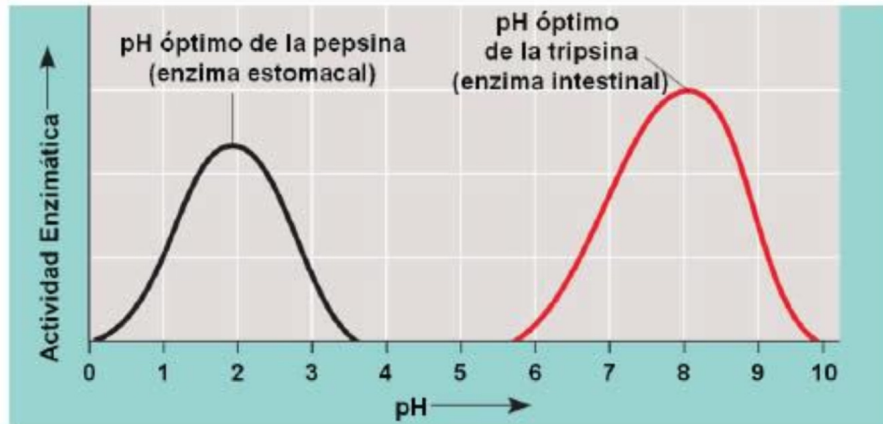
- **Temperatura**:
  - De modo general, el **aumento de la temperatura** implica un **aumento de la actividad enzimática**.
  - No obstante, existe una **temperatura óptima** donde la **actividad es máxima**. A medida que nos **separamos de esta temperatura**, la actividad disminuye. *→ exclusiva de cada enzima.*
  - Si la **temperatura es demasiado elevada**, la **actividad puede desaparecer totalmente** porque la enzima se **desnaturaliza**.



• pH:

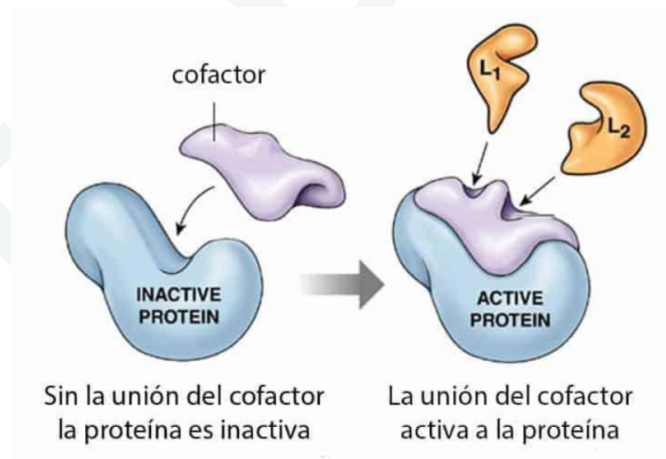
→ exclusivo de cada enzima

- Parecido al efecto de la temperatura. Existe un pH óptimo donde la actividad es máxima y a medida que nos alejamos, la enzima pierde eficacia.
- El pH cambia el grado de ionización de los radicales de los aminoácidos, modificando el centro activo.



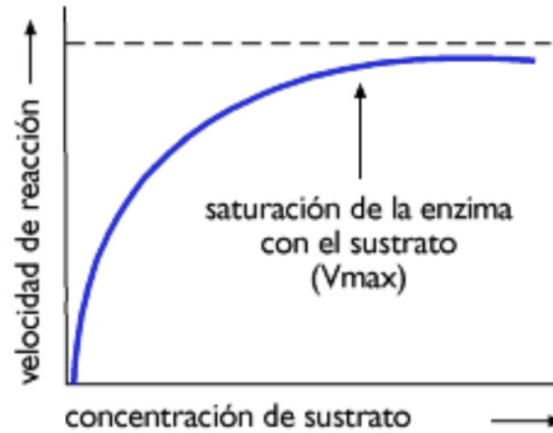
• Cofactores:

- Sin ellos, las enzimas no pueden efectuar su función.



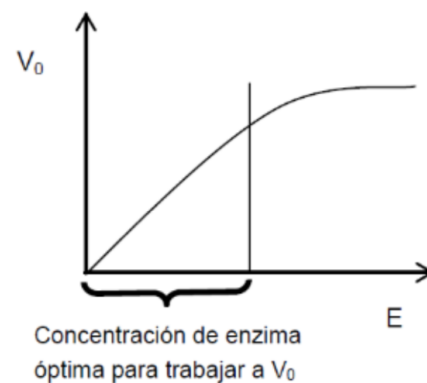
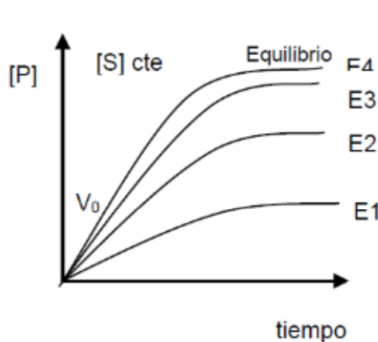
• [S]:

- A una concentración de enzima constante, a medida que aumenta la concentración de sustrato, aumenta la velocidad de reacción, hasta llegar a una concentración donde se produce una saturación de la enzima: aun que añadamos más sustrato, la velocidad no aumenta.



• [E]:

- A una **concentración de sustrato constante**, a medida que **aumentamos la concentración de enzima**, **aumenta la velocidad de la reacción**.

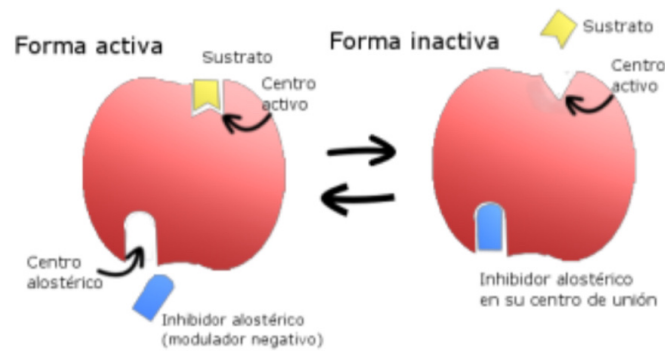
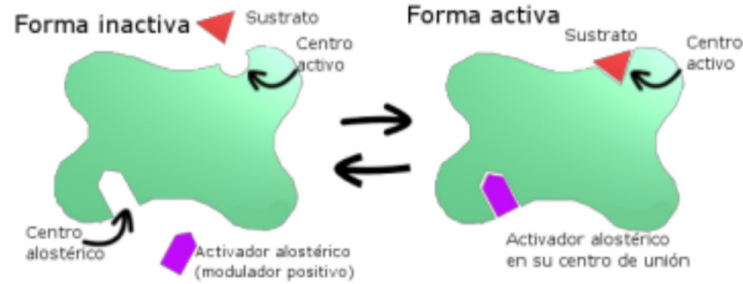


• **Alosterismo:**

- **Estimulación o inhibición de la actividad enzimática** debido a la acción de otras moléculas denominadas **moduladores**.
- Las **enzimas alostéricas** se caracterizan por tener un **centro activo** y uno o más **centros alostéricos** (donde se unen las moléculas moduladoras), son muy grandes y normalmente actúan en vías metabólicas.
- Según como sea el **modulador**, distinguimos:
  - Modulaciones positivas o **estimulaciones**.
  - Modulaciones negativas o **inhibiciones**.

*→ todas las enzimas*





- Inhibición enzimática:

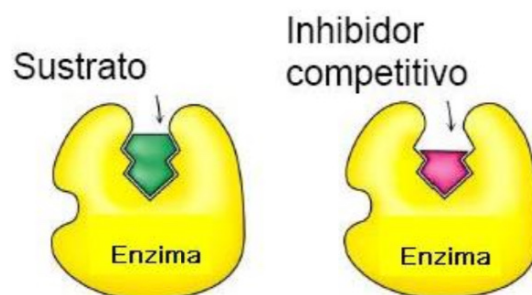
- Pérdida de la actividad enzimática debido a la unión de algunos compuestos llamados inhibidores (I).

- Distinguimos:

- Inhibición irreversible:  $I + E \rightarrow \text{enlaces covalentes} \rightarrow \text{actividad enzimática}$

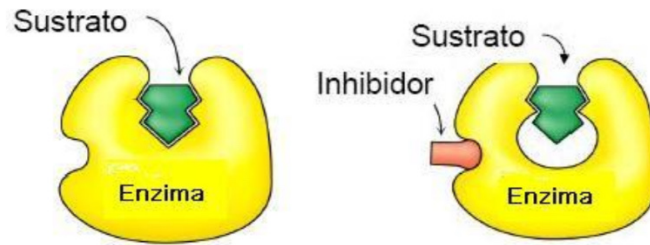
- Inhibición reversible:  $I + E \rightarrow \text{enlaces débiles} \rightarrow \text{actividad enzimática}$

- Competitiva: I y S compiten por el C.A.

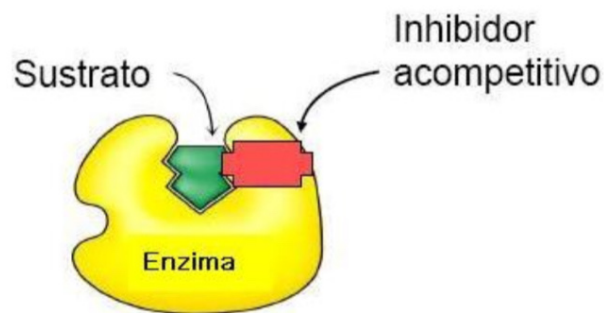




- No competitiva:  $I + E \rightarrow \text{cambio C.A.} \nrightarrow E + S$



- Acompetitiva:  $I + ES \nrightarrow \text{producto}$



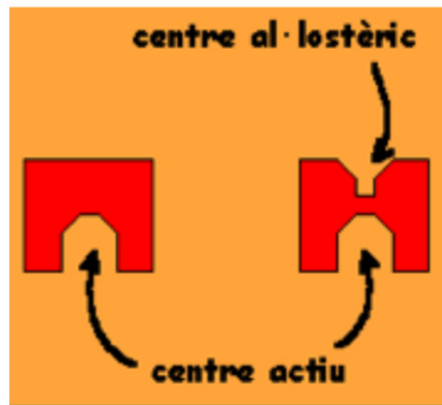
### 2.3. ESTRUCTURA DE LAS ENZIMAS

Según su estructura, las enzimas pueden diferenciarse en dos tipos:

- Enzimas estrictamente proteicas: formadas exclusivamente por aminoácidos
- Holoenzimas: apoenzima (parte proteica) + cofactor (parte NO proteica)
  - Dos tipos de cofactores: iones ( $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , ...) y coenzimas (FAD, FMN, ...)

Las enzimas tienen una parte denominada centro activo. Es aquí donde se une el sustrato y donde hay las condiciones que favorecen el cambio del sustrato a producto.  
 ↳ desarrollo de la reacción.

Hay algunas enzimas que, a parte de tener el centro activo, también tienen uno o más centros alostéricos.

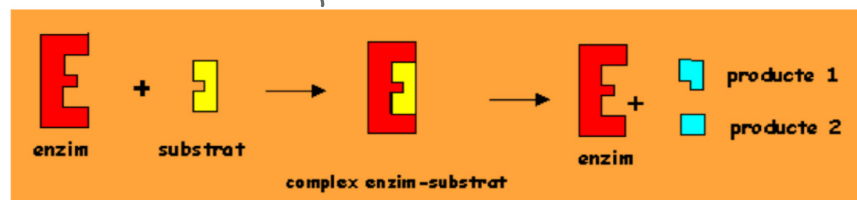


La unión de la enzima con el sustrato es específica y responde a dos modelos de unión:

- Modelo llave-cerradura:

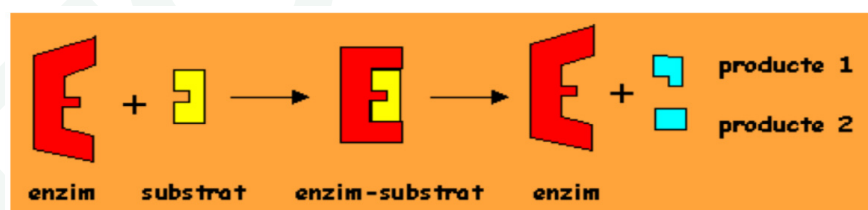


C.A. reconore perfectament al S



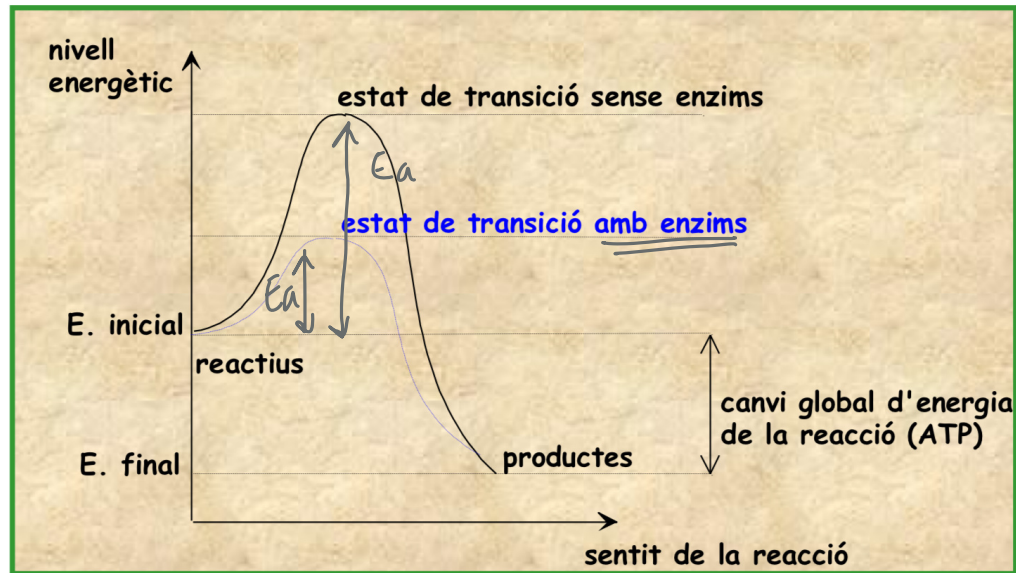
- Modelo ajuste inducido:

no encajan perfectament  $\Rightarrow$  C.A. se modifica



## 2.4. MECANISMO DE ACCIÓN DE LAS ENZIMAS

Las enzimas aumentan la velocidad de la reacción porque disminuyen la energía de activación (energía necesaria para que se dé la reacción).



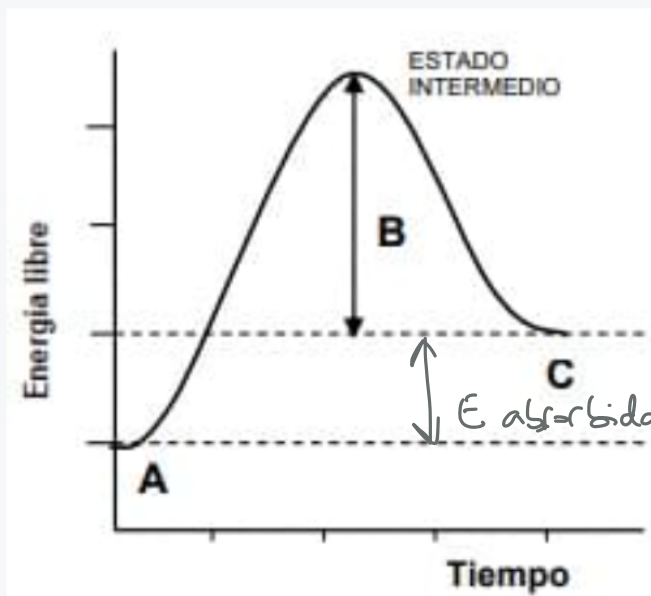
## 2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS

- **Oxidoreductasas:** reacciones de oxidación-reducción del sustrato.
- **Transferasas:** reacciones de transferencia de radicales entre moléculas.
- **Hidrolasas:** reacciones de hidrólisis de enlaces en presencia de  $H_2O$ .
- **Liasas:** separan grupos en intervención de  $H_2O$ .
- **Isomerasas:** regulan reacciones de isomerización  $\Rightarrow$  Cambio posición de algún grupo de una parte a otra de la misma molécula.
- **Ligasas o sintetasas:** crean nuevos enlaces gracias al ATP.

### 3. EJERCICIOS

En relación con los intercambios energéticos de los procesos metabólicos:

- La siguiente gráfica representa la energía de una reacción metabólica. Identifique los compuestos A y C y la variable B. Justifique si se trata de una reacción endergónica o exergónica (1 punto).
- Defina catabolismo y anabolismo. Indique un ejemplo de una ruta metabólica de cada uno de estos procesos (1 punto)



- A: sustrato / reactivo

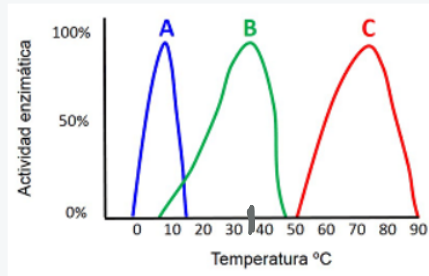
C: producto

B: energía de activación

reacción endergónica  $\Rightarrow E(\text{productos}) > E(\text{sustratos}) \Rightarrow$  se ha absorbido E
- catabolismo: conjunto de rutas metabólicas de degradación de moléculas complejas a moléculas sencillas. Ej: glucólisis, ciclo Krebs.

anabolismo: conjunto de rutas metabólicas de síntesis de moléculas complejas a partir de moléculas sencillas. Ej: fotosíntesis.

Pregunta 1. La gráfica representa la actividad de tres enzimas A, B y C en relación con la temperatura.



- Indica el nivel de actividad de los enzimas A, B y C a 37 °C. (Calificación 0.5 puntos)
- Si el enzima B permanece a 100 °C durante varias horas y después vuelve a 37 °C, ¿recupera su actividad? Razona tu respuesta. (Calificación 0.5 puntos)
- ¿Qué es lo que determina la alta especificidad de un enzima por un determinado sustrato? (Calificación 0.5 puntos)
- La ADN polimerasa cataliza la incorporación de un nucleótido a una hebra de ADN con n nucleótidos para dar una hebra con n+1 nucleótidos. Indica en esta reacción quién o quiénes son los sustratos y quién o quiénes son los productos (Calificación 0.5 puntos)

a)

A: Baja o nula  $\Rightarrow$  t. óptima:  $\sim 10^{\circ}\text{C}$   
 B: Máxima actividad  $\Rightarrow$  t. óptima:  $\sim 40^{\circ}\text{C}$   
 C: Baja o nula  $\Rightarrow$  t. óptima:  $\sim 70^{\circ}\text{C}$

b)

No. Desnaturalización proteínas  $\Rightarrow$  pérdida estructura 3D.  
 (irreversible)



No vuelve a ser funcional.

c)

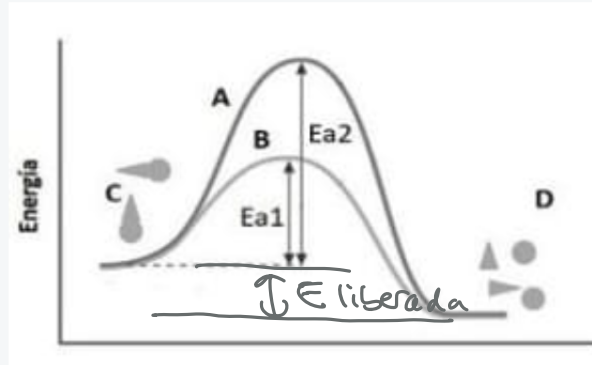
La estructura tridimensional del centro activo de la enzima.

C.A. tiene una forma complementaria y química específica para el sustrato  $\Rightarrow$  la enzima reconoce y se une únicamente a su sustrato correspondiente  $\Rightarrow$  "llave - cerradura".

d)

sustratos: nucleótidos libres y la cadena de ADN molde. (n nucleótidos)  
 productos: cadena de ADN elongada (n+1 nucleótidos)  
 enzima: ADN polimerasa.

Los enzimas son catalizadores biológicos que aceleran la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar en los organismos vivos y una vez transcurrida la reacción se pueden recuperar inalterados. En relación con la figura adjunta, responda las siguientes cuestiones:



$E(\text{sustratos}) > E(\text{productos})$   
 $\Downarrow$   
 se ha liberado energía  
 $\Downarrow$   
 reacción exergónica

- (0,5 puntos) ¿Qué indican las curvas señaladas por las letras A y B?
- (0,5 puntos) ¿Cómo se denominan los elementos indicados por las letras C y D?
- (1,0 puntos) ¿A qué se refieren las flechas marcadas con Ea1 y Ea2?
- (0,5 puntos) Explique por qué el valor de Ea2 es mayor que el de Ea1.

$$\Delta E: E_f - E_i$$

- A:  $\Delta E$  reacción sin enzima  
 B:  $\Delta E$  reacción con enzima

- C: sustratos  
 D: productos

- Ea1: energía de activación de la reacción con enzima.  
 Ea2: energía de activación de la reacción sin enzima

- Ea2 > Ea1 ?

Ea2 es la Ea  $\times$  enzima  $\Rightarrow$  reacción es más lenta  $\Rightarrow$  se necesita más energía ( $\uparrow Ea$ ) para que se dé la reacción

con enzima:  $\downarrow Ea \Rightarrow \uparrow v_{\text{reacción}} \Rightarrow$  se necesita menos energía para que se dé la reacción

¿CÓMO PUEDEN LAS ENZIMAS AUMENTAR LA PROBABILIDAD DE REACCIÓN ENTRE SUSTRATO Y ENZIMA?

Desprendiendo calor durante la unión.

Reduciendo la concentración de sustratos.

Atrayendo a los sustratos hacia la enzima.

Aumentando la energía de activación necesaria.

¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE LAS LIGASAS O SINTETASAS?

Catalizan reacciones de isomerización.

Transfieren radicales o grupos funcionales de un sustrato a otro.

Unen moléculas o radicales mediante la energía proporcionada por la desfosforilación de una molécula de ATP.

Catalizan reacciones en las que se rompen enlaces C-C, C-N o C-O.

¿QUÉ TIPO DE ENZIMAS CATALIZAN REACCIONES DE OXIDACIÓN O REDUCCIÓN?

Oxidoreductasas.

Transferasas.

Hidrolasas.

Isomerasas.

¿CÓMO SE LLAMA LA MOLÉCULA QUE SE UNE AL SITIO ALOSTÉRICO DE UNA ENZIMA ALOSTÉRICA?

Proteína.

Cofactor.

Sustrato.

Modulador o efector alostérico.

¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE LOS MODULADORES NEGATIVOS EN UNA ENZIMA ALOSTÉRICA?

Estabilizar el centro activo.

Inactivar la enzima.

Aumentar la velocidad de reacción.

Activar la enzima.

¿CUÁL ES UNA CARACTERÍSTICA DEL CENTRO ACTIVO DE LAS ENZIMAS?

No tiene estructura tridimensional.

Está compuesto principalmente por lípidos.

Es una parte muy pequeña del volumen total de la enzima.

Es la mayor parte de la enzima.

UNA ENZIMA CATALÍTICAMENTE ACTIVA ES:?

Una holoenzima. → *apoenzima + cofactor*

Una apoenzima.

Un cofactor.

Una coenzima.

¿QUÉ FUNCIÓN TIENEN LAS TRANSFERASAS?

Catalizan reacciones de isomerización.

Rompen enlaces mediante hidrólisis.

Transfieren radicales o grupos funcionales de un sustrato a otro.

Unen moléculas mediante la energía del ATP.

La parte proteica de un enzima recibe el nombre de ...?

Cofactor

Coenzima

Grupo prostético

Holoenzima

Apoenzima

¿QUÉ FRASE ES CIERTA EN RELACIÓN A LAS COENZIMAS?

Forman la estructura espacial específica.

Actúan asociadas débilmente a enzimas.

Actúan como apoenzimas.

Realizan la reacción química.