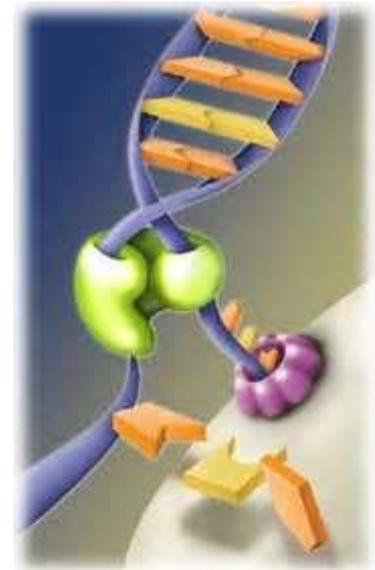


# BIOQUÍMICA

## TEMA 2. ENZIMAS

D. Ph. Daniel Díaz Plascencia.

Contacto: [dplascencia@uach.mx](mailto:dplascencia@uach.mx)  
[www.lebasmx.com](http://www.lebasmx.com)





# ¿QUE SON LAS ENZIMAS?

---

- Son catalizadores específicos para las reacciones bioquímicas.
- Las enzimas son necesarias para que las reacciones bioquímicas se produzcan a una velocidad adecuada para la célula.
- Puede regularse la producción de distintas sustancias según las necesidades.



## CONTINUACIÓN

---

- El mecanismo de actuación de las enzimas implica la necesidad de mantener su estructura tridimensional y, en aquellas proteínas oligoméricas, su estructura cuaternaria.
- La principal ventaja de las enzimas frente a los catalizadores inorgánicos es que actúan en condiciones suaves de pH y temperatura, con una gran eficiencia y, además, de forma muy específica.



## CONTINUACIÓN

---

- También las enzimas son vitales para la supervivencia de bacterias y virus que constituyen el blanco de algunos fármacos contra estos organismos infecciosos, como es el caso de la transcriptasa inversa del virus del SIDA.



# CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS

---

- Existe un sistema internacional para la nomenclatura y clasificación de las enzimas creado por la *Enzyme Commission* (EC) de la IUBMB (*International Unión of Biochemistry and Molecular Biology*) que evita imprecisiones y ambigüedades.
- Según este sistema, las enzimas pueden clasificarse en varios grupos, según el tipo de reacciones que catalicen.



# CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS

---

1. Oxidorreductasas.
2. Transferarasas.
3. Hidrolasas.
4. Liasas.
5. Isomerasas.
6. Ligasas.



# CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS

---

## 1. Oxidorreductasas.

- Catalizan reacciones de oxidación y reducción.
- Los electrones que resultan eliminados de la sustancia que se oxida son aceptados por el agente que causa la oxidación (agente oxidante), que sufre así un proceso de reducción.



## CONTINUACIÓN

---

- El principal agente oxidante es el  $O_2$  que está implicado en numerosas reacciones de oxidación irreversibles.
- En los sistemas biológicos, el FAD y  $NAD^+$  participan en numerosas reacciones de oxido-reducción.



# CONTINUACIÓN

---

## 2. Transferasas.

- Transfieren un grupo químico de una molécula a otra.
- Las quinasas, muy importantes en muchos procesos biológicos, son un tipo esencial de transferasas que catalizan la transferencia de un grupo fosfato a otra molécula desde un nucleósido trifosfato.



# CONTINUACIÓN

---

## 3. Hidrolasas.

- Son un tipo especial de transferasas que transfieren un grupo  $-OH$  desde el agua a otro sustrato.
- Se segregan del anterior grupo de enzimas por su carácter irreversible.
- El sustrato típico suele ser un enlace éster (incluyendo el fosfodiéster de los ácidos nucleicos) o amida.



# CONTINUACIÓN

---

## 4. Liasas.

- Generalmente catalizan la escisión reversible de enlaces carbono-carbono como en el caso de las aldolasas.
- En algunos casos, como consecuencia de la ruptura del enlace, se generan nuevos dobles enlaces o anillos.



## CONTINUACIÓN

---

- Otras enzimas de esta clase forman y rompen enlaces C – N o liberan CO<sub>2</sub> (descarboxilación).
- En el caso de formación de enlaces, estas enzimas no requieren energía de nucleósidos trifosfato y se denominan sintasas.



# CONTINUACIÓN

---

## 5. Isomerasas.

- Catalizan reacciones que suponen un movimiento de un grupo o un doble enlace dentro de la molécula, lo que hace que se obtenga un nuevo isómero (conversión de formas D a L, epimerasas).
- Si cambia la posición de un grupo fosfato la enzima se llama mutasa.



# CONTINUACIÓN

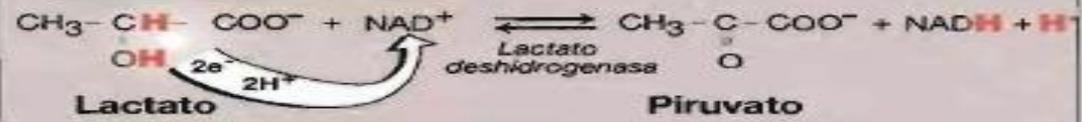
---

## 6. Ligasas.

- Catalizan la formación de enlaces carbono-carbono, pero, a diferencia de las liasas requieren energía que obtienen de la hidrólisis de ATP y se denominan sintetasas.

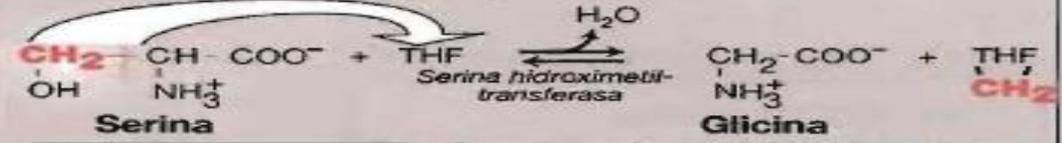
**1. Oxidorreductasas**

Catalizan reacciones de oxidorreducción, como:



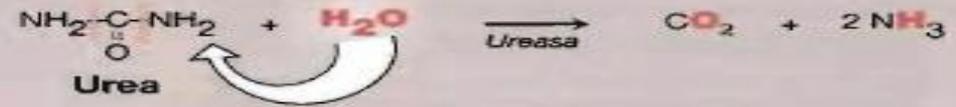
**2. Transferasas**

Catalizan la transferencia de grupos que contienen C-, N- o P-, como:



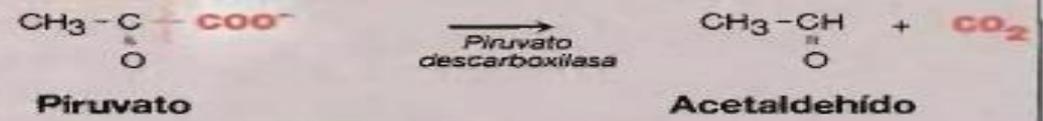
**3. Hidrolasas**

Catalizan la escisión de enlaces mediante la adición de agua, como:



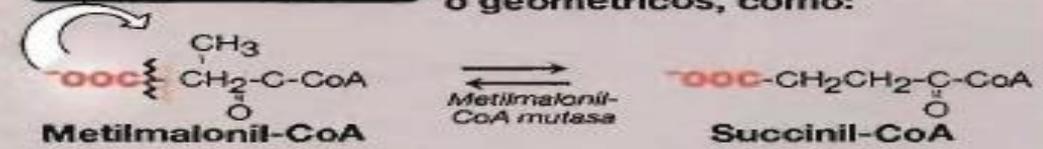
**4. Liasas**

Catalizan la escisión de los enlaces C-C, C-S y ciertos C-N, como:



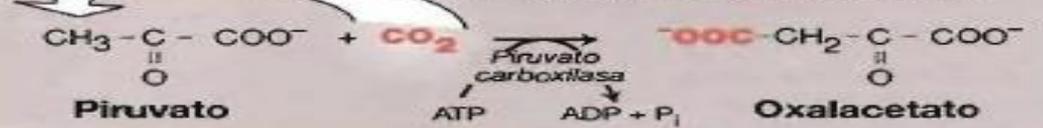
**5. Isomerasas**

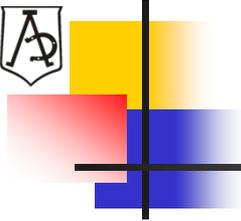
Catalizan la racemización de los isómeros ópticos o geométricos, como:



**6. Ligasas**

Catalizan la formación de enlaces entre el carbono y el O, el S y el N acoplados a la hidrólisis de fosfatos de alta energía, como:





# COFACTORES, COENZIMAS Y EL PAPEL DE LAS VITAMINAS

---

- Los análisis de cristalografía de rayos X y RM (Resonancia Magnética Nuclear) han demostrado que numerosas enzimas tienen un componente no proteico, denominado **cofactor** (cationes metálicos) o coenzima (moléculas orgánicas), que es necesario para su correcto funcionamiento.



## CONTINUACIÓN

---

- Este tipo de enzimas que requieren un componente adicional, la porción proteica se denomina apoenzima y la molécula completa holoenzima (la apoenzima más un cofactor o coenzima).



# HOLOENZIMA Y APOENZIMA

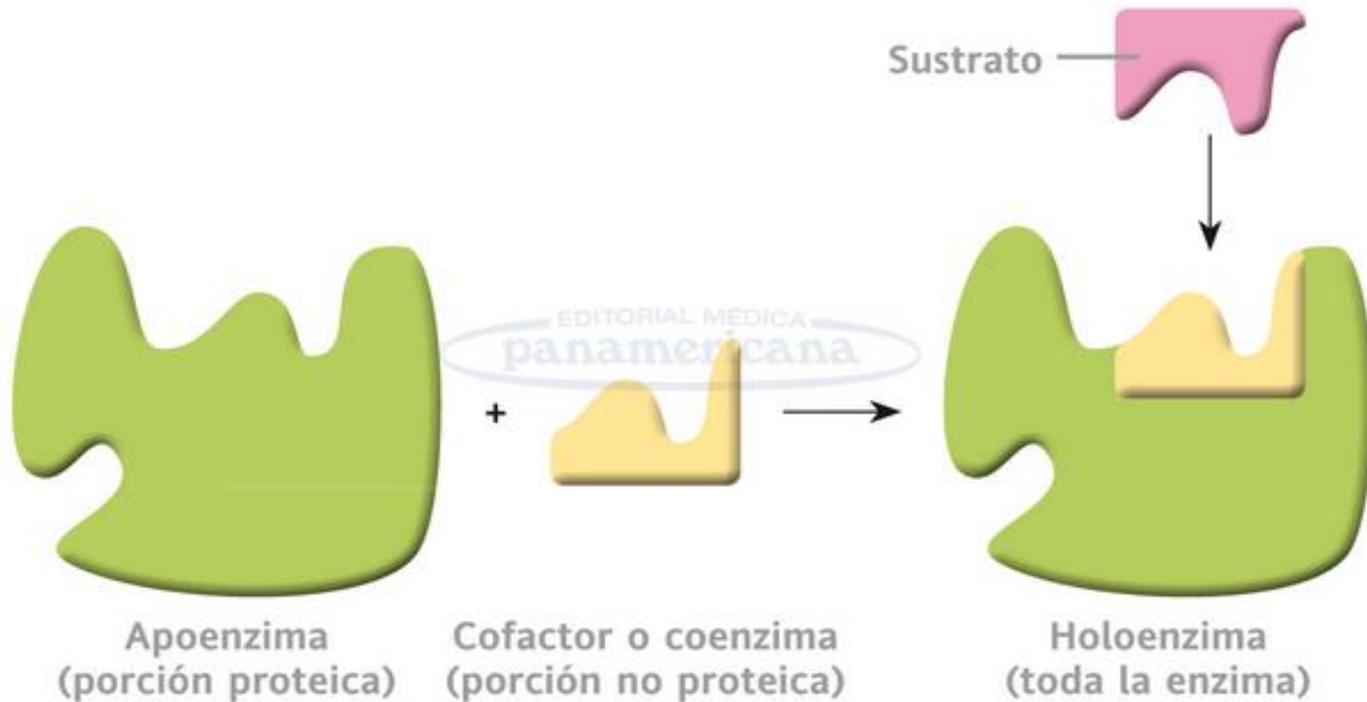
---

Algunas enzimas necesitan una porción no proteica para desempeñar su función: si es un catión metálico se denomina cofactor; y si es una molécula orgánica, coenzima.

La porción proteica se denomina apoenzima, y la enzima completa, holoenzima.



# HOLOENZIMA Y APOENZIMA





# NOMENCLATURA

---

- Cada enzima tiene asignado dos nombres.
- El primero es su nombre recomendado, corto, cómodo para el uso cotidiano.
- El segundo es el nombre sistemático más completo, que se utiliza cuando debe identificarse una enzima sin ambigüedad.



## CONTINUACIÓN

---

- Los nombres utilizados con más frecuencia para las enzimas tienen el sufijo “asa” unido al sustrato de la reacción (p. ej., glucosidasa, ureasa, sacarasa) o a una descripción de la acción que realizan (p. ej., lactato deshidrogenasa y adenilato ciclasa).
- **Nota:** algunas enzimas conservan sus nombres triviales originales, que no dan ninguna pista sobre la reacción enzimática asociada, p. ej., tripsina y pepsina.



# PROPIEDADES DE LAS ENZIMAS

---

Las enzimas son proteínas catalizadoras que aumentan la velocidad de una reacción química y no se consumen durante la reacción que catalizan.

**Nota:** algunos tipos de ácido ribonucleico (ARN) pueden actuar como enzimas, normalmente catalizando la escisión y síntesis de enlaces fosfodiéster.



# PROPIEDADES GENERALES

---

- **AUMENTAN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN**

- De  $10^6$  a  $10^{12}$  veces vs sin enzima.

- Aún más rápido que los catalizadores químicos.

- **CONDICIONES DE REACCIÓN**

- Temperatura 25-40 °C (algunas hasta 75 °C)

- pH neutro, la mayoría 6.5 – 7.5

- Presión atmosférica normal.



# CONTINUACIÓN

---

## CAPACIDAD DE REGULACIÓN

- Por concentración de sustrato.
- Por concentración de enzima.
- Por inhibidores competitivos (semejantes al sustrato).
- Por inhibidores no competitivos (modificación covalente de la enzima).
- Por regulación alostérica.



# CONTINUACIÓN

---

## ALTA ESPECIFICIDAD DE REACCIÓN

- Interacción estereoespecífica con el sustrato.
- No hay productos colaterales.



## SITIO ACTIVO

---

- Región que se une al sustrato y contribuye con los residuos que participan en la formación y ruptura de enlaces (grupos catalíticos).
- Supone una porción relativamente pequeña del volumen total de la enzima.
- Es una entidad tridimensional.



## CONTINUACIÓN

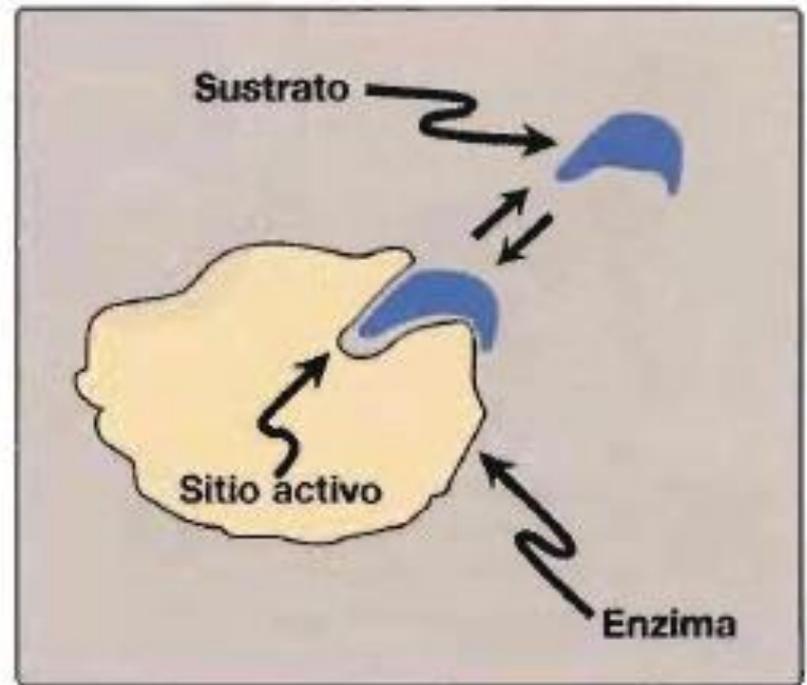
---

- Se unen a los sustratos por fuerzas relativamente débiles.
- Son hoyos o hendiduras de las que suele quedar excluida el agua, salvo que sea un componente de la reacción.
- La especificidad del enlace depende de la disposición de los átomos del sitio activo.



# CONTINUACIÓN

Representación esquemática de una enzima con un sitio activo al que se une a una molécula de sustrato.





# EFICIENCIA CATALÍTICA

---

La mayoría de las reacciones catalizadas por una enzima son muy eficientes:

Transcurren a velocidades  $10^3$  a  $10^8$  veces más rápidas que las reacciones no catalizadas.

Normalmente cada molécula de enzima es capaz de transformar en producto más de 100 a 1,000 moléculas de sustrato cada segundo.



## CONTINUACIÓN

---

- El número de moléculas de sustrato convertidas en producto por molécula de enzima por segundo se denomina número de recambio, o  $k_{cat}$ .



# ESPECIFICIDAD

---

- Las enzimas son muy específicas: interaccionan con un sustrato, o unos pocos sustratos, y catalizan sólo un tipo de reacción química.
- Dado que las enzimas son muy selectivas para sus sustratos, el conjunto de enzimas sintetizado en una célula determina que vías metabólicas se producen en esa célula.



# HOLOENZIMAS

---

Algunas enzimas necesitan moléculas que no son proteínas para realizar su actividad enzimática.

Por **holoenzima** se entiende la enzima activa con su componente no proteico, mientras que la enzima sin su mitad no proteica se denomina **apoenzima** y es inactiva.

Si la mitad no proteica es un ion metálico como el  $Zn^+$  o el  $Fe^{2+}$ , se denomina cofactor.



## CONTINUACIÓN

---

- Si se trata de una molécula orgánica pequeña, se conoce como coenzima.
- Las coenzimas que sólo se asocian transitoriamente con la enzima se denominan cosustratos.
- Los cosustratos se disocian de la enzima en un estado alterado.



## CONTINUACIÓN

---

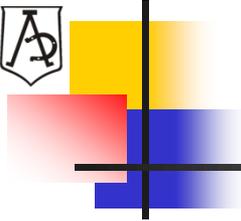
- Si la coenzima está asociada permanentemente con la enzima y vuelve a su forma original, se denomina grupo prostético.
- Las coenzimas normalmente proceden de las vitaminas.



# REGULACIÓN

---

- La actividad enzimática puede ser regulada, es decir, las enzimas pueden ser activadas o inhibidas, de modo que la velocidad de la formación del producto responde a las necesidades de la célula.



# LOCALIZACIÓN DENTRO DE LA CÉLULA

---

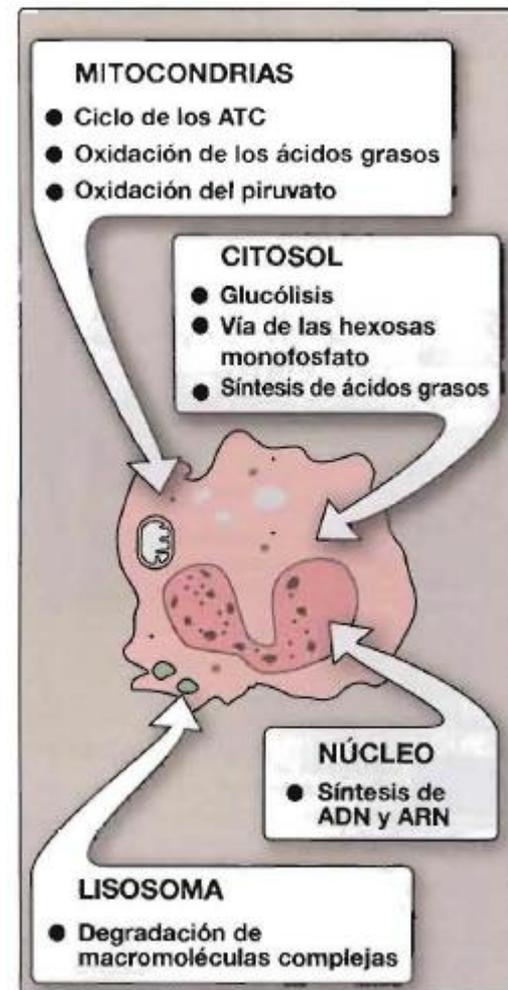
- Muchas enzimas están localizadas en orgánulos específicos dentro de la célula.
- Dicha compartimentalización sirve para aislar el sustrato o el producto de la reacción de otras reacciones competidoras.
- Esto proporciona un ambiente favorable para la reacción y permite organizar las millares de enzimas presentes en la célula en vías definidas y con un objetivo.

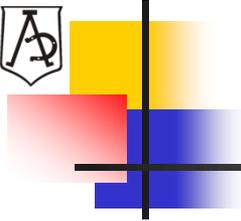


# CONTINUACIÓN

- Localización intracelular de algunas vías bioquímicas importantes.

ATC, ácidos tricarboxílicos.





# MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS ENZIMAS

---

- Las enzimas (**E**) tienen un papel fundamental:

acelerar las reacciones biológicas actuando sobre sustratos (**S**) específicos que se van a transformar en el producto (**P**) de la reacción ( $E + S \longrightarrow E + P$ ).

- Las enzimas no modifican la constante de equilibrio de la reacción.



## CONTINUACIÓN

---

- Esta función, es esencial para los seres vivos, la consiguen gracias a que poseen una estructura tridimensional característica, en el centro activo.
- En las proteínas, las características del centro activo van a estar determinadas por la naturaleza de los aminoácidos que lo forman y su distribución especial concreta.



# CONTINUACIÓN





# CONTINUACIÓN

---

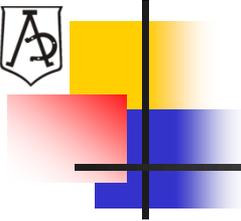
- La transformación de sustrato en producto ocurre a través de un estado transitorio inestable denominado el estado de transición.
- Las enzimas catalizan las reacciones mediante la formación de un complejo enzima-sustrato que estabiliza el estado de transición.



# CONTINUACIÓN

---

- Las enzimas catalizan las reacciones mediante la formación de un complejo enzima-sustrato que estabiliza el estado de transición.
- Las enzimas no alteran los equilibrios de reacción pero consiguen que se alcancen de forma más rápida.



# INTERACCIONES EN EL COMPLEJO ENZIMA SUSTRATO

---

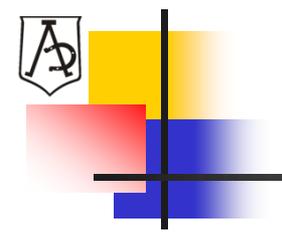
- Para entender cómo se realizan las interacciones en el complejo **(ES)** se han postulado varios modelos.
- El primero fue el denominado modelo “llave y cerradura” propuesto por Emil Fischer en 1894.
- En este modelo explica la especificidad entre enzima y sustrato, pero no permite explicar cómo se produce la reacción de una forma eficiente.



## CONTINUACIÓN

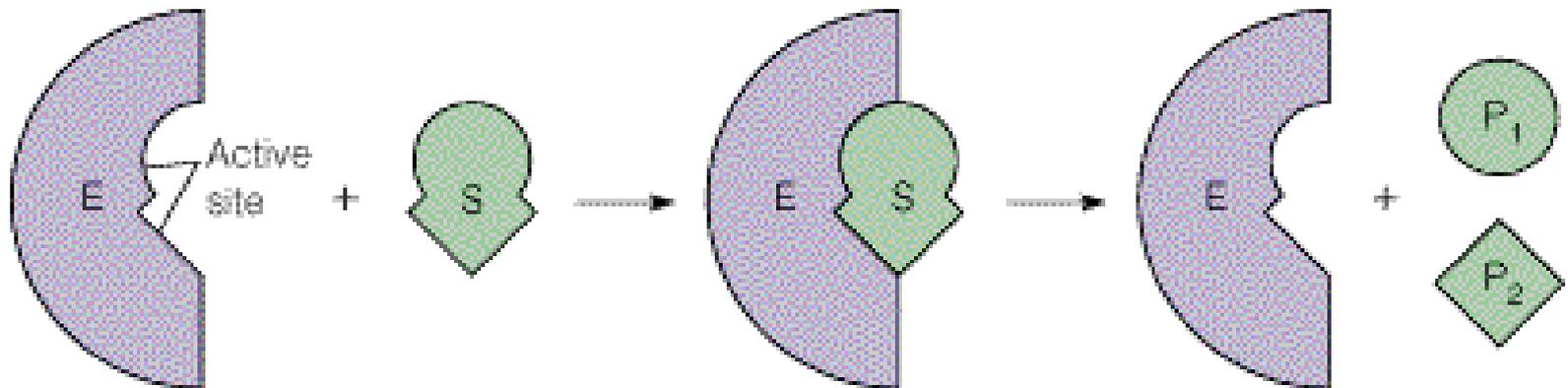
---

- Este modelo explica la especificidad entre enzima y sustrato, pero no permite explicar cómo se produce la reacción de una forma eficiente.
- La transformación de un sustrato esférico con cargas eléctricas negativas en su superficie en un producto cúbico sin carga.



# CONTINUACIÓN

1894 Fischer propuso la hipótesis de la llave-cerradura





## CONTINUACIÓN

---

- Según el modelo de Fischer, la formación del complejo **ES** es tan estable que cualquier transformación posterior haría que se perdieran interacciones dando lugar a una situación menos estable que el complejo **ES** y, por tanto, no tendría lugar la formación del producto.



## CONTINUACIÓN

---

- La transformación del estado de transición en el producto hace que la enzima pierda su afinidad por esta nueva molécula, que es liberada del centro activo.
- Fue Linus Pauling en 1946 quien propuso que el verdadero encaje llave-cerradura no ocurría entre el sustrato y la enzima, sino entre el estado de transición y la enzima.



## CONTINUACIÓN

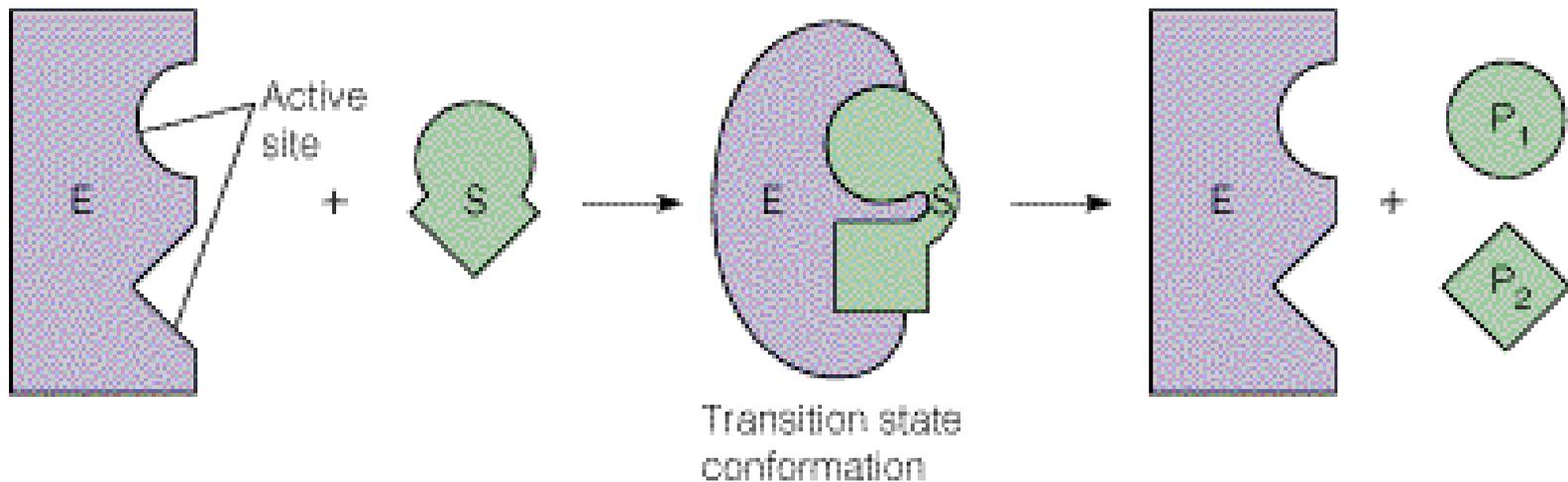
---

- Posteriormente, Daniel Koshland postuló un mecanismo que permitía explicar el aumento en la eficiencia de las interacciones no covalentes que se establecen entre enzima y el sustrato.
- El modelo propone que la interacción entre ambas moléculas hace que la proteína sufra un cambio de conformación que permite la formación de interacciones adicionales entre la enzima y el estado de transición y se conoce como el modelo de **encaje inducido**



# CONTINUACIÓN

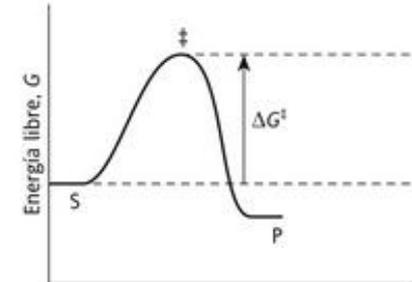
1958 Koshland propuso el modelo del encaje inducido



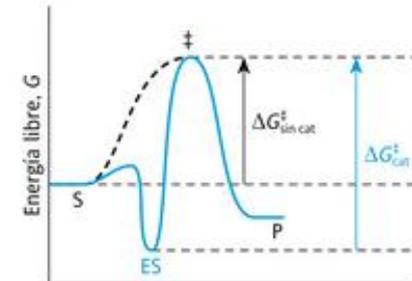
“Bioquímica” Mathews, van Holde y Ahern. Addison Wesley 2002

# CONTINUACIÓN

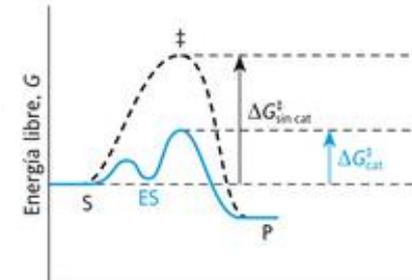
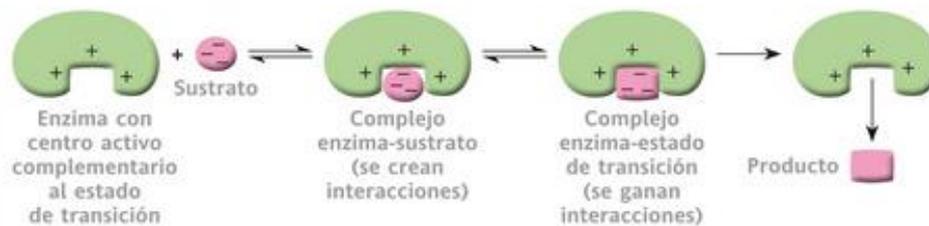
(a) Reacción sin catalizar



(b) Modelo de Fischer (llave y cerradura)



(c) Modelo del estado de transición

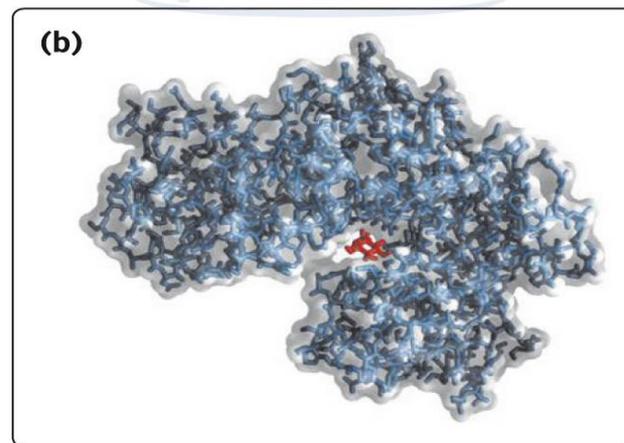
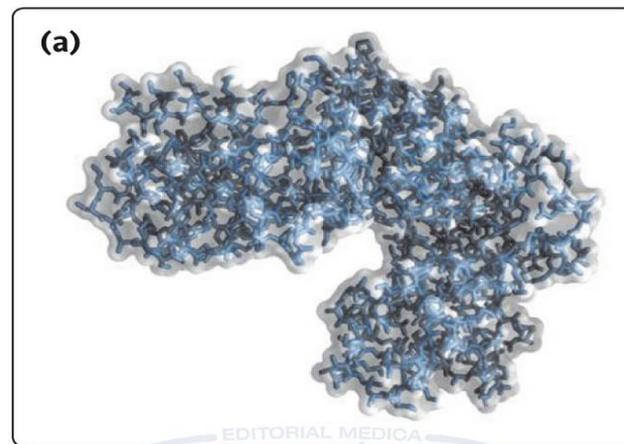


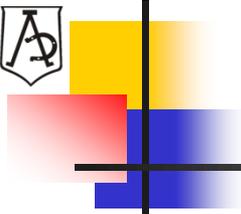


# CONTINUACIÓN

## Modelo del encaje inducido de Kohlsand

- a) Representación de la hexoquinasa en ausencia de sustrato.
- b) En presencia del sustrato, la enzima sufre cambios en su conformación entre ambas moléculas.





## Mecanismos químicos para la estabilización del estado de transición.

---

- La energía de fijación proporciona especificidad y catálisis.
- La formación del complejo **ES** mantiene al sustrato en la orientación correcta y facilita las interacciones entre los grupos funcionales que van a reaccionar, a diferencia de lo que ocurre en una reacción en disolución en la que las colisiones se producen al azar.



## CONTINUACIÓN

---

- Las interacciones débiles que se forman entre enzima y sustrato sustituyen las interacciones que existían entre las moléculas y el agua.
- De esta forma, si se elimina la capa de solvatación del sustrato, se facilitara su transformación en producto.
- La ausencia de moléculas de agua en la bolsa hidrofóbica del centro activo aumenta las interacciones no covalentes entre la enzima y el estado de transición del sustrato.



## CONTINUACIÓN

---

- Mediante el “secuestro” del sustrato en este centro activo, se elimina la barrera energética impuesta por las interacciones de las moléculas de agua con el propio sustrato, y **el incremento de interacciones no covalentes entre enzima y sustrato acelera la reacción.**



## CONTINUACIÓN

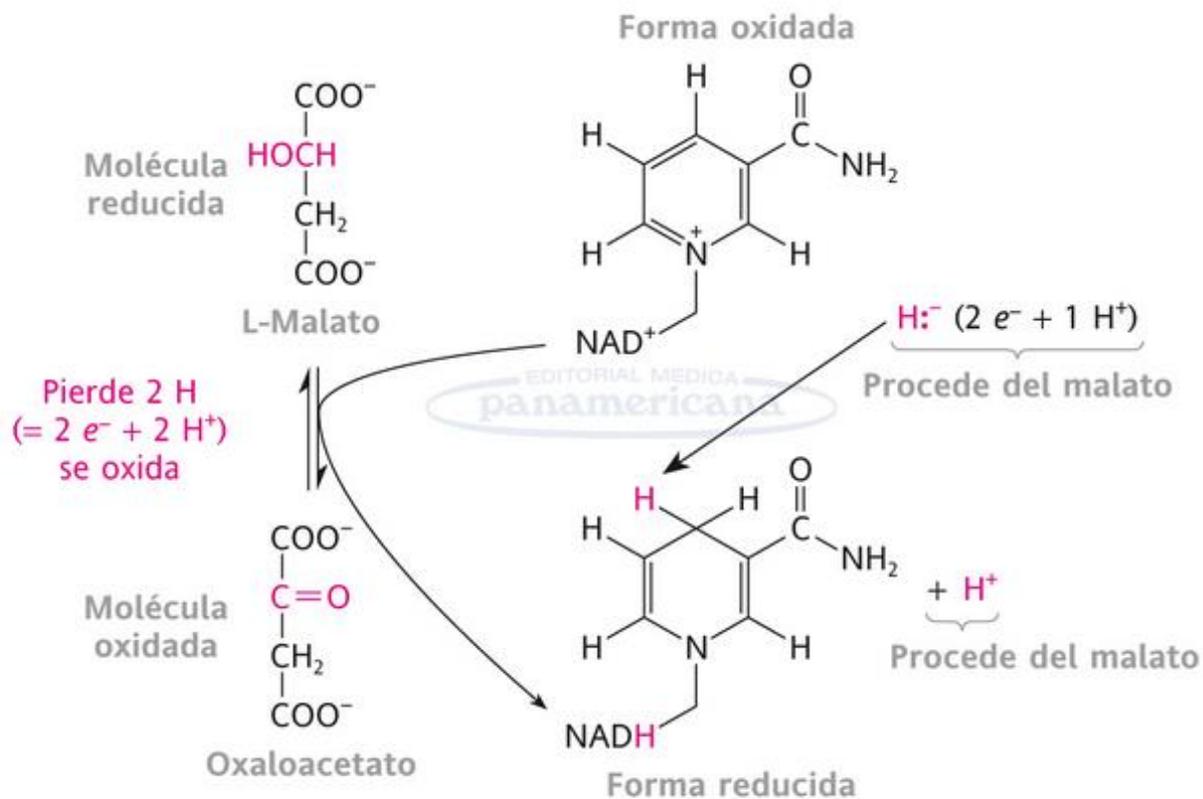
---

**La presencia de grupos catalíticos específicos permite crear rutas alternativas de menor energía de activación.**

- Hay numerosas reacciones enzimáticas en las que se producen reacciones transitorias entre la enzima y el sustrato que, junto con la energía de fijación, contribuyen a rebajar la energía de activación acelerando de forma especifica las reacciones catalizadas.



# CONTINUACIÓN





# CONTINUACIÓN

---

Los mecanismos por los que la enzima consigue rebajar la energía de activación mediante la unión con ciertos residuos se puede clasificar en cuatro grupos principales:

## 1. Catálisis ácido-base general.

Es una forma de estabilizar las cargas que aparecen en un estado de transición es la transferencia de protones desde o hacia el sustrato.



## CONTINUACIÓN

---

- Este mecanismo se diferencia de la catálisis ácido-base específica, en que la transferencia de protones en este tipo de catálisis se realiza entre el sustrato y el agua.



# CONTINUACIÓN

---

## 2. Catálisis covalente.

En este tipo de reacciones se crea un enlace covalente transitorio entre la enzima y el sustrato, que produce catálisis siempre que esa nueva vía para alcanzar el producto final tenga menor energía de activación que la que se desarrolla en ausencia de catalizador.



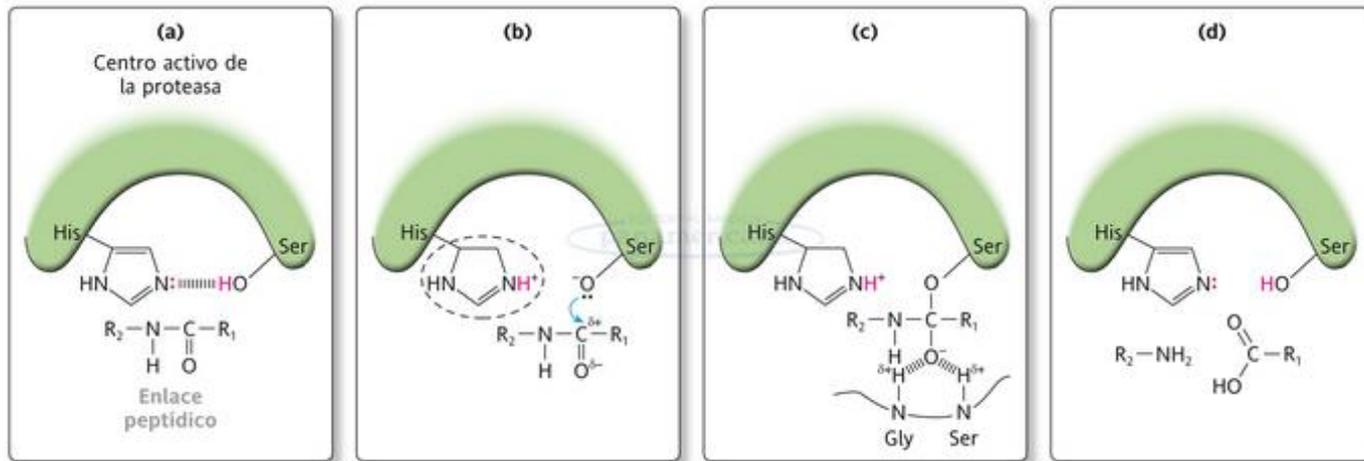
# CONTINUACIÓN

---

## 3. Catálisis ácido-base general y covalente en una proteasa.

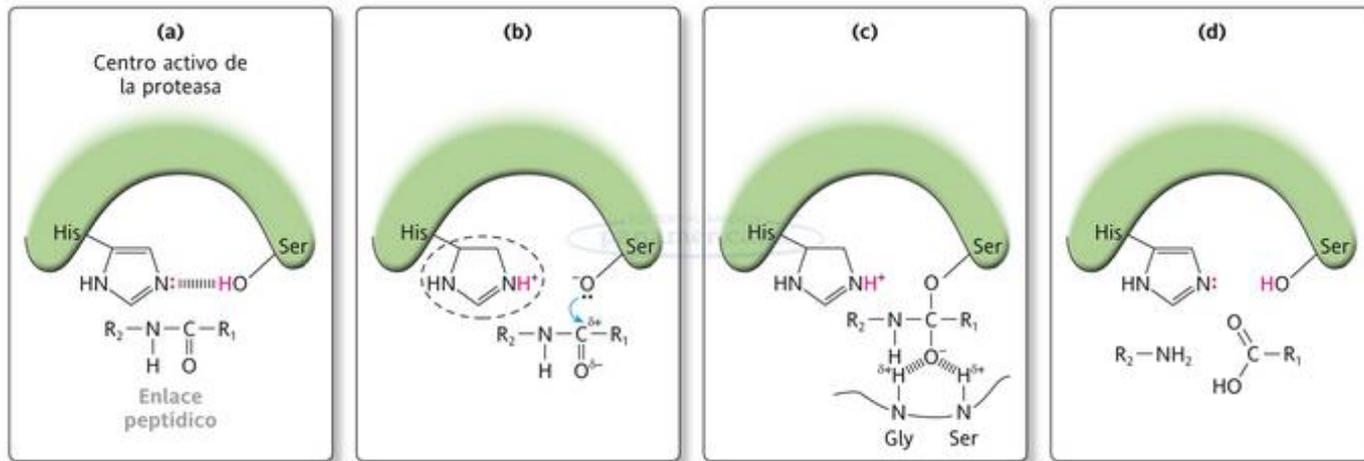
En algunas proteasas la ruptura del enlace peptídico combina dos mecanismos de estabilización del estado de transición

# CONTINUACIÓN



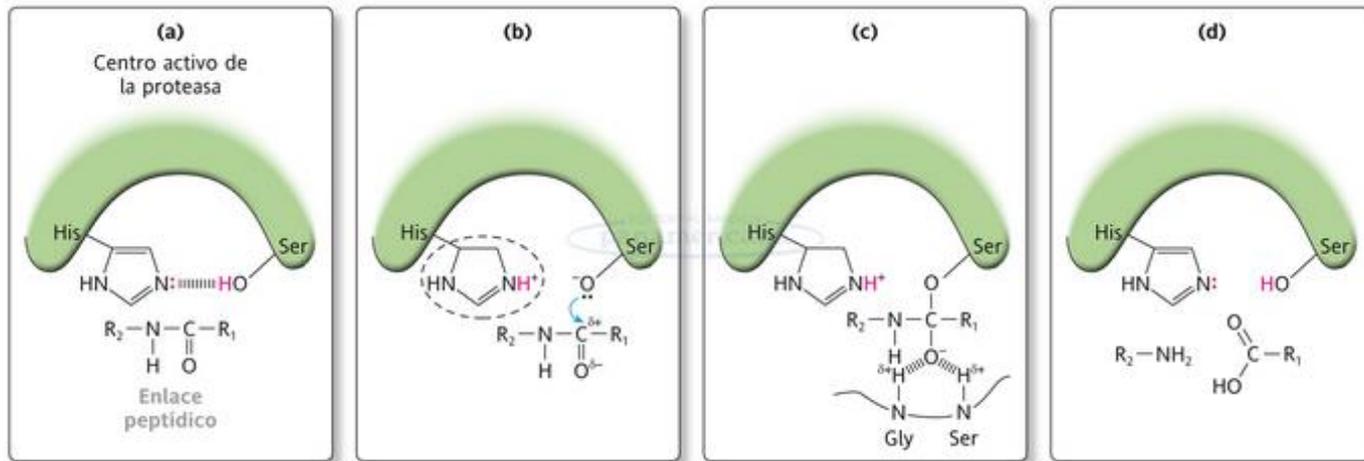
a) En el grupo nucleófilo de la Ser pierde un protón, que es aceptado por el grupo imidazol de una His (catálisis ácido-base general).

# CONTINUACIÓN



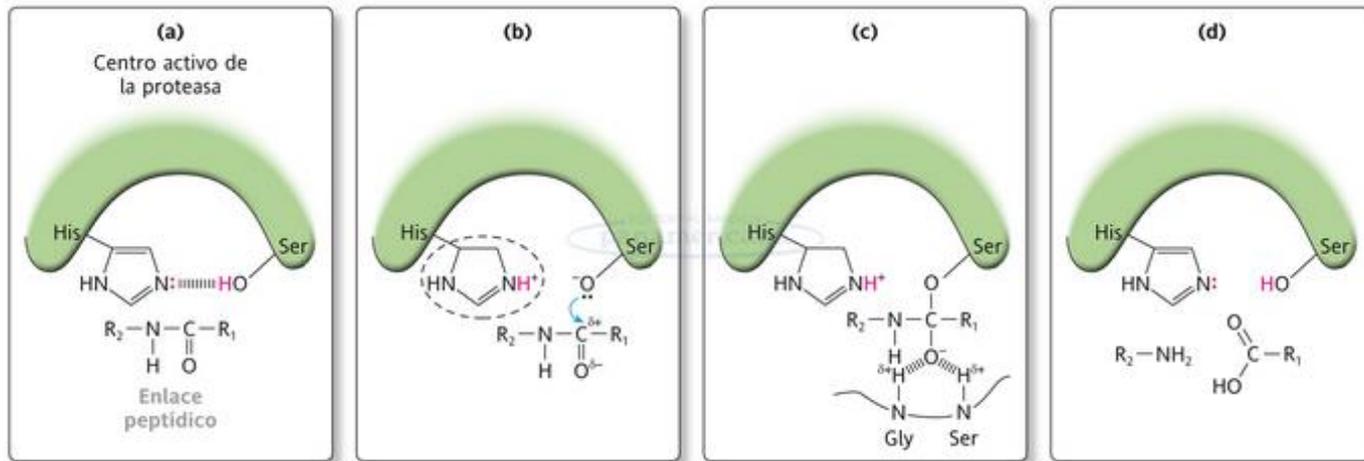
b) Como consecuencia, aumenta la reactividad del nucleófilo de la serina ( $\text{-O}^-$ ), que ataca al grupo carbonilo del enlace peptídico.

# CONTINUACIÓN



c) Se forma un intermediario inestable con una carga negativa que resulta estabilizada por dos hidrógenos con carga parcial positiva del enlace peptídico de dos residuos del centro activo.

# CONTINUACIÓN



d) El enlace peptídico se rompe mediante la adición de una molécula de agua, quedando la enzima en su situación inicial.



# CONTINUACIÓN

---

## 4. Catálisis por iones metálicos.

Los iones metálicos pueden actuar de diversas formas en la reacción catalizada:

- Orientando el sustrato de la forma adecuada para que reaccione.
- Estabilizando cargas en un estado de transición inestable.



# CONTINUACIÓN

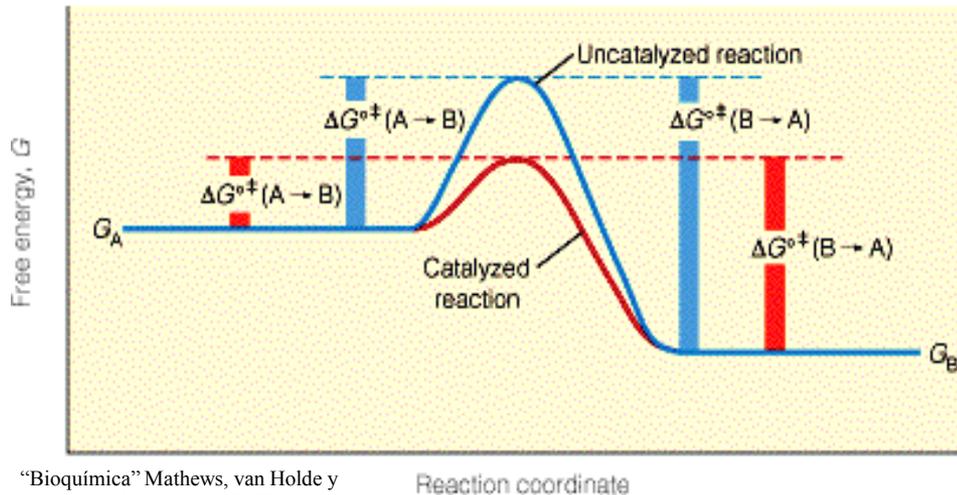
---

- Facilitando reacciones de oxidorreducción gracias al paso reversible de su estado de oxidación.
- Cambiando la polaridad de ciertos enlaces para hacerlos más susceptibles a ciertos reactivos.

# Las enzimas aceleran las reacciones bajando la energía de activación

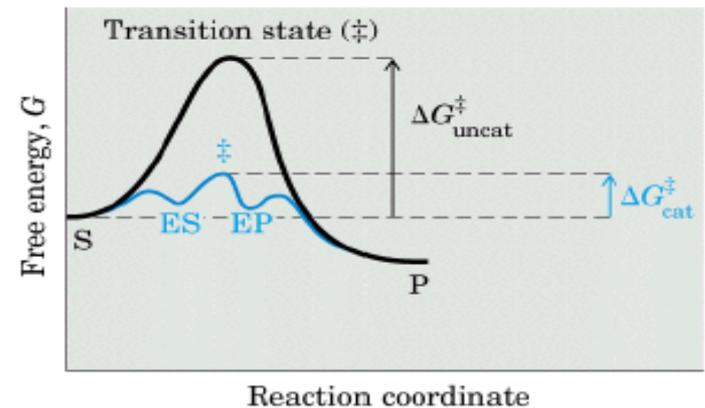
## Diagrama de energía libre

Catalizador



"Bioquímica" Mathews, van Holde y Ahern. Addison Wesley 2002

Enzima



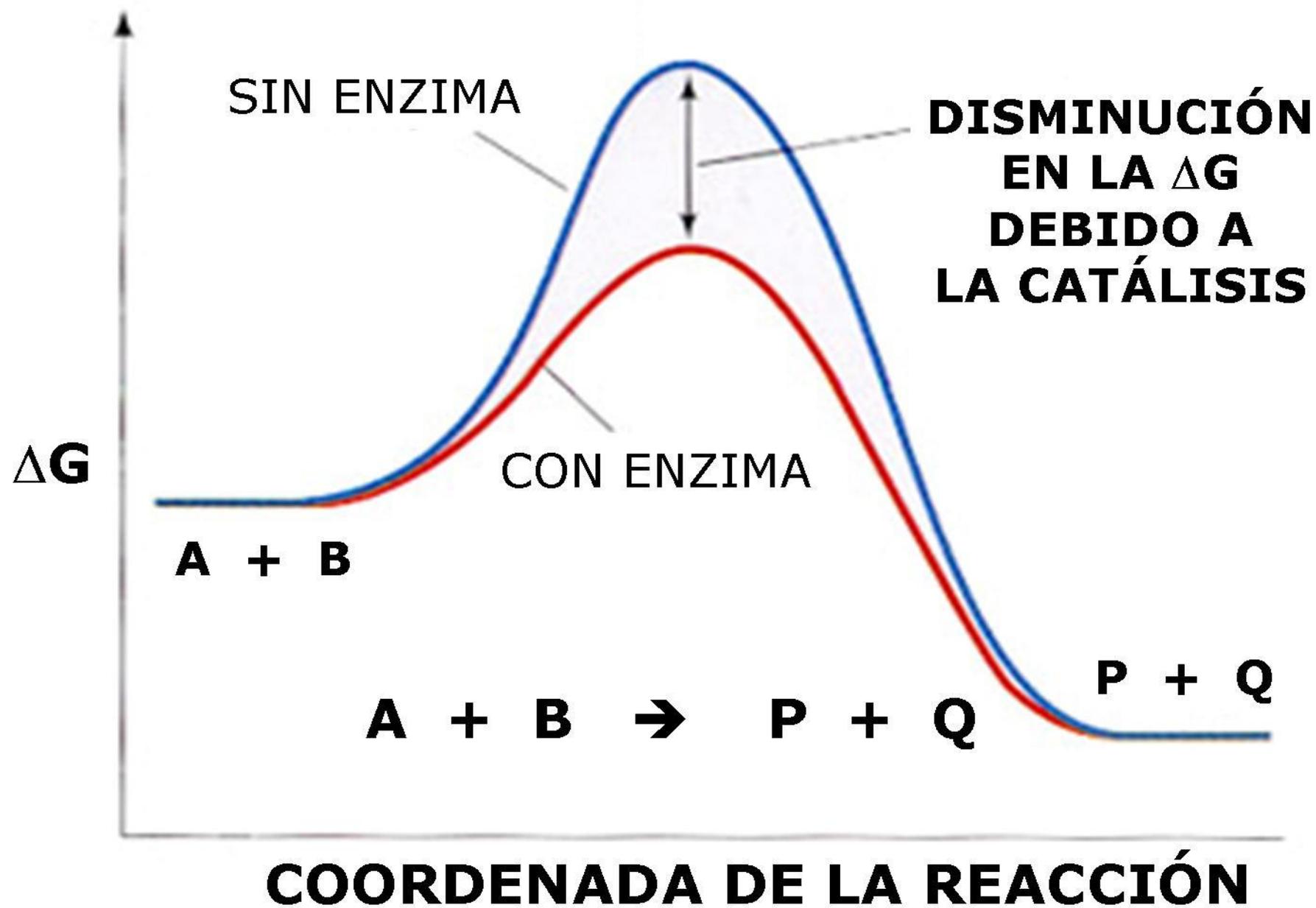
("Lehninger Principles of Biochemistry" 3th.ed Nelson, DL and Cox, M.M. Worth Publishers, 2000.)



## CONTINUACIÓN

---

- La enzima se une a la molécula de sustrato y la hace adoptar un estado intermediario semejante al de transición pero de menor energía.
- Esta energía de activación y la conversión del intermediario en producto son menores que la energía de activación de la reacción sin catalizar.





# CONTINUACIÓN

---

## ESTADO DE TRANSICIÓN O COMPLEJO ACTIVADO

**(ET):** representa la estructura de más alta energía que participa. Corresponde a una configuración en la cuál hay ruptura y formación parcial de enlaces, por lo tanto es inestable y no se puede aislar.

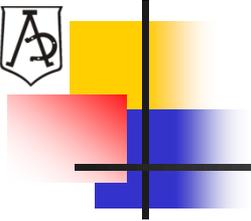


# CONTINUACIÓN

---

**Energía de activación ( $E_a$ ):** es la diferencia entre los reactantes y el estado de transición y determina qué tan rápido ocurre la reacción.

- Una ( **$E_a$** ) ELEVADA da por resultado una reacción lenta.
- Una ( **$E_a$** ) PEQUEÑA da por resultado una reacción rápida.



# BASES DE LA ACCIÓN ENZIMÁTICA

---

## Energía de activación ( $E_a$ ).

Para que se de una reacción química tienen que verificarse 3 condiciones.

- 1.- Los reactivos, llamados sustratos en enzimología, deben colisionar.
- 2.- La colisión molecular tiene que ocurrir con una orientación adecuada (las enzimas aumentan la probabilidad).

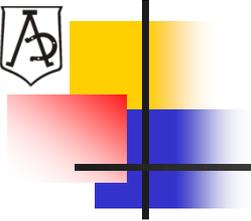


## CONTINUACIÓN

---

3.- Los reactivos deben poseer suficiente energía para alcanzar el estado de transición.

- Esta energía se llama energía de activación.
- **Las enzimas hacen que la reacción vaya más rápida.**



# EN LAS REACCIONES BIOQUÍMICAS

---

1. **Energía de activación:** barrera de energía que hay que superar para que se produzca la reacción.

Es la energía necesaria para:

- Alinear grupos reactivos.
- Formar cargas inestables transitorias.
- Reordenar enlaces.



## CONTINUACIÓN

---

2. Superada esta barrera, se llega a un estado activado o de transición en el que se produce la orientación y condiciones adecuadas para la reacción.

**Las enzimas combinan diferentes mecanismos químicos para disminuir la energía de activación y aumentar la velocidad de la reacción.**



# CINÉTICA ENZIMÁTICA

---

**La cinética química estudia las velocidades de reacción.**

- Los datos cinéticos obtenidos en el laboratorio permiten conocer aspectos sobre el mecanismo de la reacción enzimática estudiada.



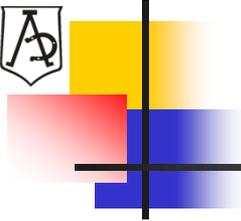
## CONTINUACIÓN

---

- Las reacciones enzimáticas se ajustan a dos tipos de cinéticas, que son:

**Hipérbolas rectangulares:** enzimas que siguen la cinética de Michaelis-Menten

**Sigmoidales:** enzimas alostéricas que muestran fenómenos de cooperatividad.



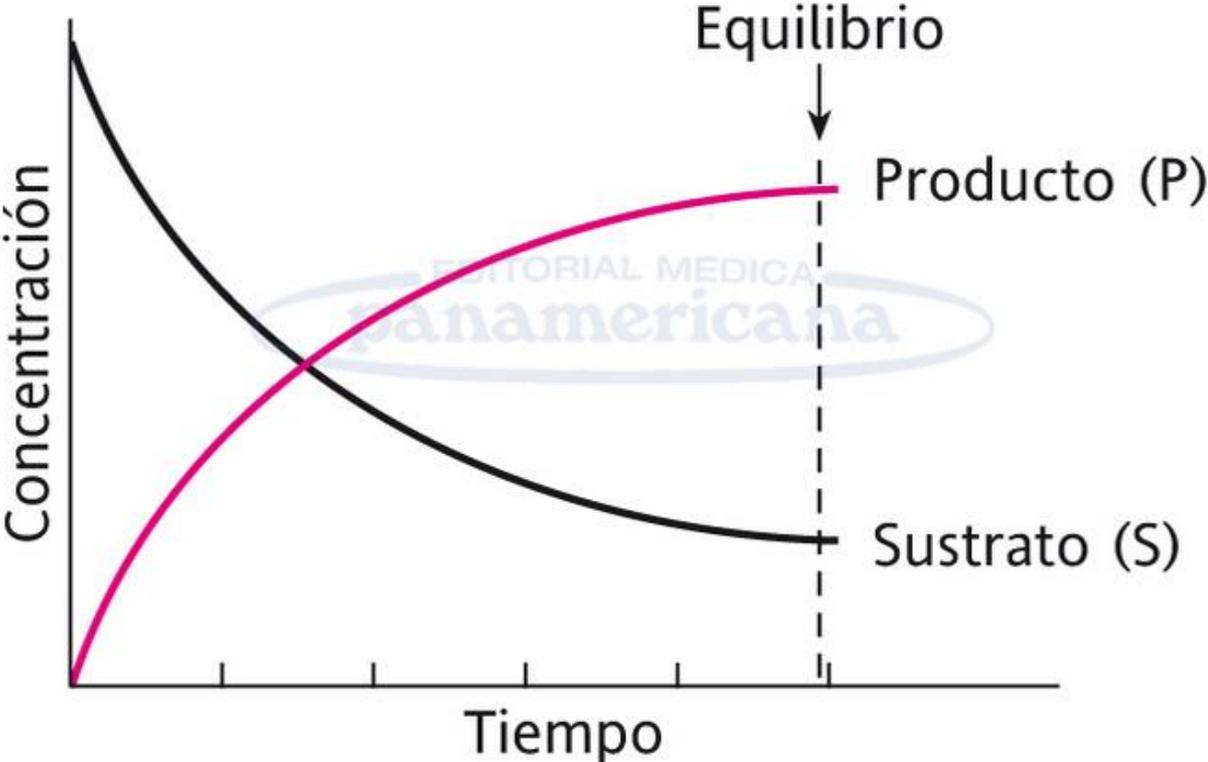
# CINÉTICA DE LAS REACCIONES DE UN SOLO SUSTRATO

---

- Los estudios de las reacciones de un solo sustrato se realizan mezclando una concentración conocida de enzima con una concentración concreta de sustrato, y midiendo la desaparición de sustrato o la aparición de producto a lo largo del tiempo.



# CONTINUACIÓN





## CONTINUACIÓN

---

Diagrama de desaparición de sustrato y aparición de producto en una reacción catalizada.

- En la etapa inicial de la reacción se observa una desaparición progresiva de sustrato y una aparición de producto hasta llegar al equilibrio.
- Para una reacción reversible, en el equilibrio no hay cambio neto en las concentraciones de sustrato y producto.



## CONTINUACIÓN

---

El método analítico de medida de sustrato o de producto dependerá de sus características químicas, pero son habituales los métodos espectroscópicos, de fluorescencia o radiométricos.

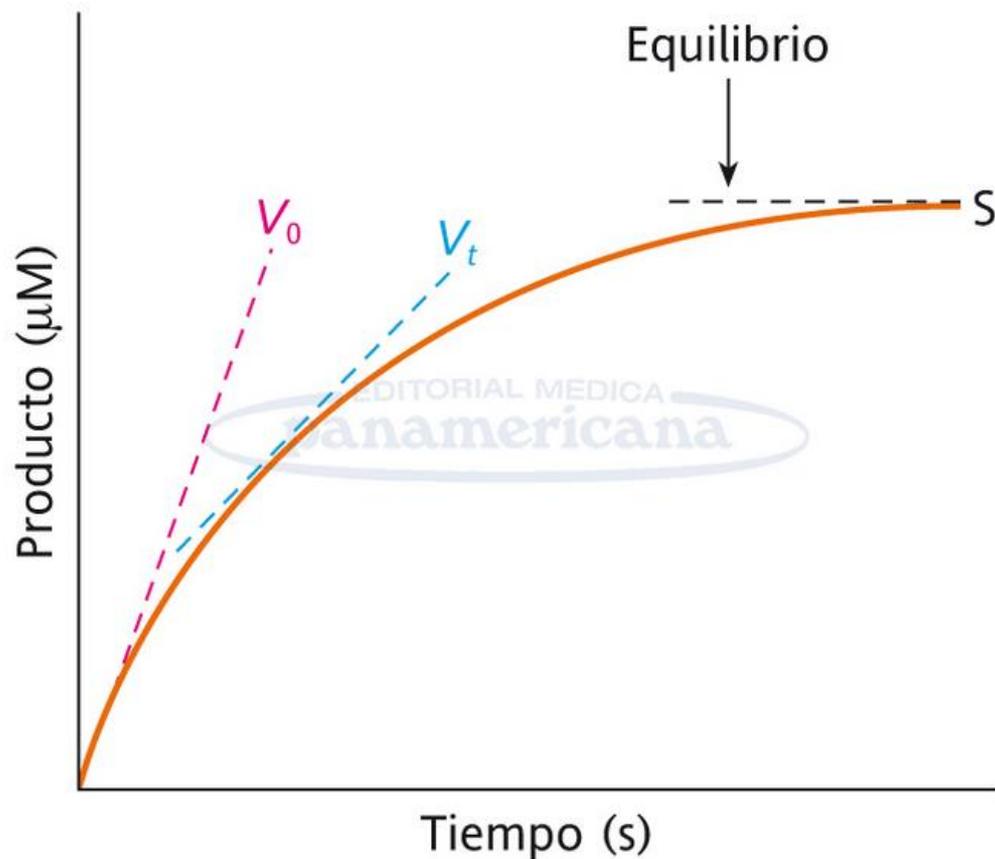
Si se realiza una representación gráfica de este tipo de ensayo se obtiene una curva de progreso como la que se muestra a continuación



# CONTINUACIÓN

## Velocidad inicial ( $V_0$ )

- Se determina la pendiente de la recta en el inicio de la reacción.
- La velocidad a cualquier tiempo  $t$  se representa como  $V_t$





## CONTINUACIÓN

---

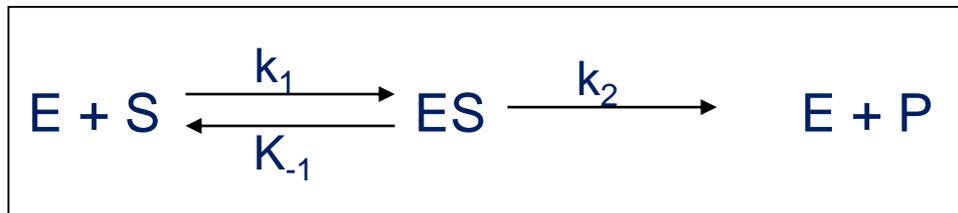
En la figura anterior muestra el curso de una reacción catalizada con una concentración de enzima constante.

La concentración de producto va aumentando de forma lineal hasta que el sustrato va desapareciendo en el transcurso del tiempo, y la reacción alcanza el equilibrio.



## CONTINUACIÓN

Este comportamiento se puede explicar de una forma cualitativa suponiendo que la reacción enzimática transcurre mediante la reacción.



Cambios en la concentración de los participantes en una reacción catalizada por una enzima en función del tiempo.

## Modelo de Michaelis-Menten (1913)



Michaelis



Menten

Propusieron una ecuación de velocidad que explica el comportamiento cinético de las enzimas.

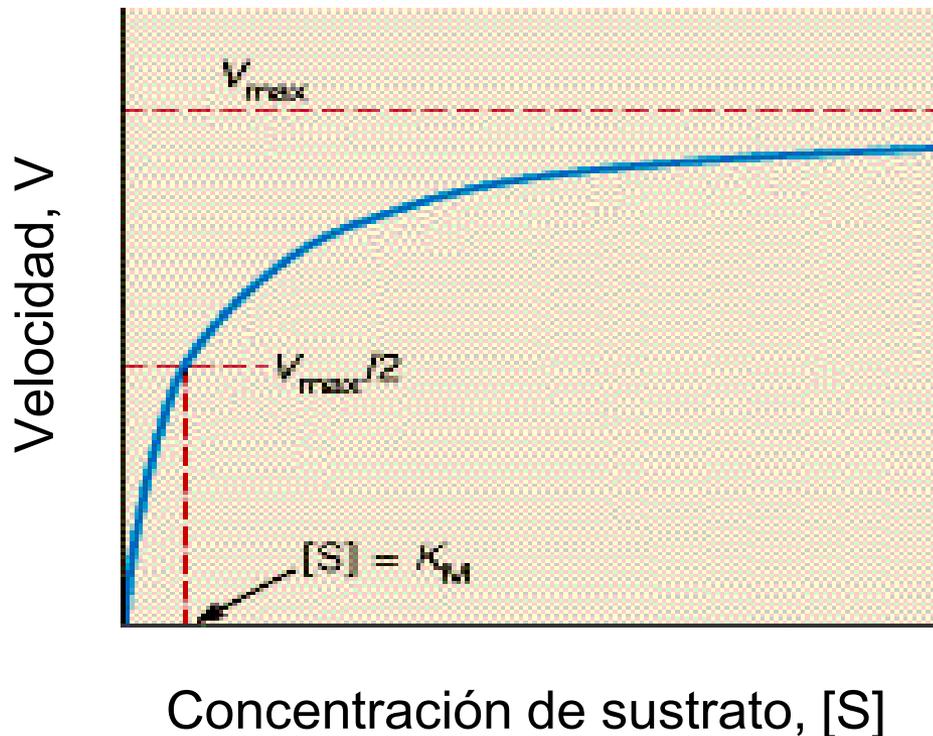
# ECUACIÓN DE MICHAELIS MENTEN

$$V_0 = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_M}$$

Cuando  $V = V_{\max}/2$ :  
 $K_M = [S]$

Para  $[S] \ll K_M$ :  
 $v \approx \frac{V_{\max}}{K_M} [S]$

Para  $[S] \gg K_M$ :  
 $v \approx V_{\max} \equiv k_2 [E_0]$





## CONTINUACIÓN

---

Cuando:

$V_o = V_{max}$  Todos los sitios activos están ocupados y no hay moléculas de E libre.

$K_M = [S]$  Sí...  $\frac{1}{2} V_{max}$

$K_M$  representa la cantidad de sustrato necesaria para fijarse a la mitad de la E disponible y producir la mitad de la  $V_{max}$

$K_M$  representa la concentración del sustrato en una célula.



## CONTINUACIÓN

---

La  $K_M$  es un parámetro de Actividad Enzimática

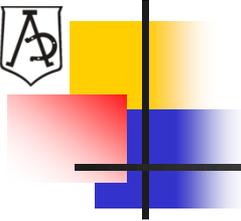
- La  $K_M$  es inversamente proporcional con la actividad de la enzima.
- Valor de  $K_M$  grande, baja actividad
- Valor de  $K_M$  pequeño, alta actividad



## CONTINUACIÓN

---

- La ecuación de Michaelis-Menten explica el comportamiento de las reacciones en la que la concentración del complejo enzima-sustrato permanece constante y la concentración de sustrato es muy superior a la de enzima.

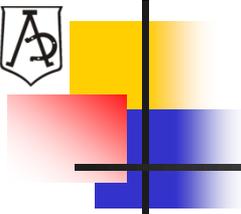


# FACTORES EXTERNOS QUE ALTERAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

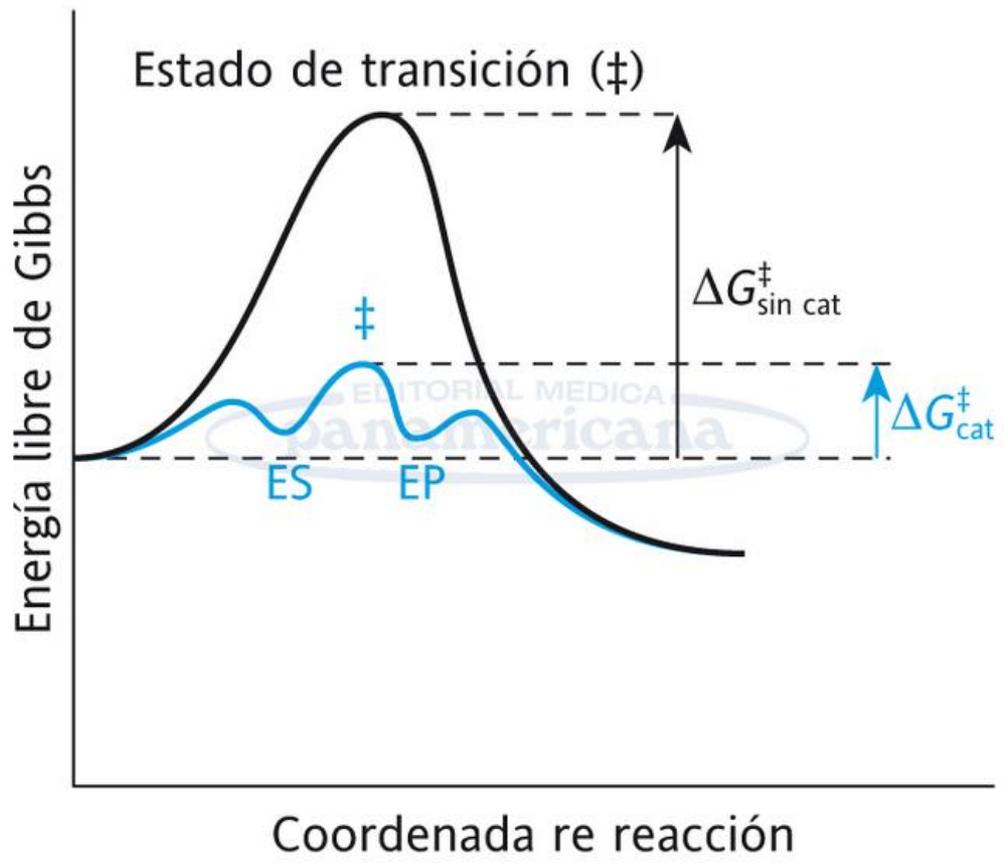
---

## Temperatura.

El aumento de la temperatura conduce a un aumento en la velocidad de la reacción, que tiene un límite cuando se sobrepasa la temperatura de desnaturalización de la enzima, lo que conlleva una pérdida de su función.



# CONTINUACIÓN





## CONTINUACIÓN

---

- En la figura anterior se muestra un diagrama del curso de una reacción catalizada y sin catalizar.
- En la reacción catalizada los intermediarios ES y EP ocupan valores mínimos en el diagrama del curso de la reacción catalizada que es menor que la de la misma reacción sin catalizar.



# CONTINUACIÓN

---

## pH

- Los cambios en el pH del medio pueden alterar al estado de ionización de las cadenas laterales de los aminoácidos ácidos y básicos.
- Estos cambios pueden afectar a la afinidad de la enzima por el sustrato, si se ven alteradas las cargas de los aminoácidos que participan en la formación de interacciones no covalentes entre la enzima y el sustrato para formar el complejo (ES)



# REGULACIÓN ENZIMÁTICA

---

- En la célula existe la necesidad de coordinar la actuación de muchas enzimas en aquellas vías que desarrollan de forma secuencial, es decir, donde el producto de una reacción es el sustrato de la siguiente.
- En estos sistemas existen una o varias enzimas que tienen un mayor efecto sobre la velocidad global del proceso y se denominan enzimas reguladoras.



## CONTINUACIÓN

---

- Estas enzimas pueden cambiar su actividad como respuesta a ciertas modificaciones y suelen ser las que catalizan la primera de las reacciones de la secuencia puesto que la regulación de la ruta en las últimas etapas supondría un gasto innecesario.



## CONTINUACIÓN

---

- Existen varios mecanismos mediante los que se modula su actividad.
- Las enzimas alostéricas se unen de forma reversible no covalente a pequeñas moléculas, que regulan su actividad.
- Otras enzimas sufren modificaciones covalentes, que pueden ser reversibles o irreversibles, produciéndose cambios en su función.



**Fin**