

CONCEPTOS BÁSICOS DE CINÉTICA QUÍMICA

Ecuaciones de velocidad

A temperatura constante, la velocidad de reacción elemental varía con la concentración de reactivo en una forma sencilla. Consideremos la siguiente reacción elemental general:



La velocidad de este proceso es proporcional a la frecuencia con que las moléculas reaccionantes entran simultáneamente en contacto, es decir, al producto de las concentraciones de los reactivos. Esto se expresa con la siguiente **ecuación de velocidad**:

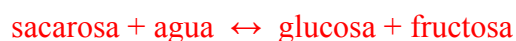
$$\text{Velocidad} = k [A]^a [B]^b \dots [Z]^z$$

donde k es una constante de proporcionalidad conocida como **constante de velocidad**. El **orden de una reacción se define como** $(a + b + \dots + z)$, **la suma de los exponentes en la ecuación de velocidad**.

Orden de reacción

En **una reacción de orden cero**, la velocidad de formación del producto es independiente de la concentración de sustrato: $v = k$

En **una reacción de primer orden** la velocidad de formación de los productos es directamente proporcional a la concentración del sustrato: $v = k [A]$. Así en la reacción



La velocidad de hidrólisis de la sacarosa es, en todo momento, proporcional a la concentración de sacarosa. Dicho matemáticamente, donde [A] es la concentración de sacarosa a cada tiempo (t) y k es la constante de proporcionalidad. Se dice que esta es una reacción de primer orden.

Una reacción de segundo orden es aquella en la que la velocidad de formación del producto depende

a) de la concentración de dos sustratos (como en una reacción de condensación $v = k [A_1] [A_2]$

b) o del cuadrado de la concentración de un sustrato (reacción de dimerización $v = k [A]^2$

En la tabla siguiente se resumen los distintos tipos de reacción, y la forma de calcular sus parámetros cinéticos.

	ORDEN CERO	PRIMER ORDEN	SEGUNDO ORDEN
Expresión diferencial de la velocidad	$\frac{-d[A]}{dt} = k$	$\frac{-d[A]}{dt} = k \cdot [A]$	$\frac{-d[A]}{dt} = k \cdot [A]^2$
Ecuación integrada de la velocidad	$[A] = -kt + [A]_0$	$\ln[A] = -kt + \ln[A]_0$	$\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A]_0}$
Vida media (t _{1/2})	$\frac{[A]_0}{2k}$	$\frac{0.693}{k}$	$\frac{1}{k[A]_0}$
Representación que da lugar a una recta	[A] vs t	Ln[A] vs t	1/[A] vs t
Signo de la pendiente	negativo	negativo	positivo
Significado de la pendiente	-k	-k	k
Significado de la ordenada en el origen	[A]₀	Ln[A]₀	$\frac{1}{[A]_0}$
[A] ₀ es	b	e^b	1/b

Para una reacción de primer orden

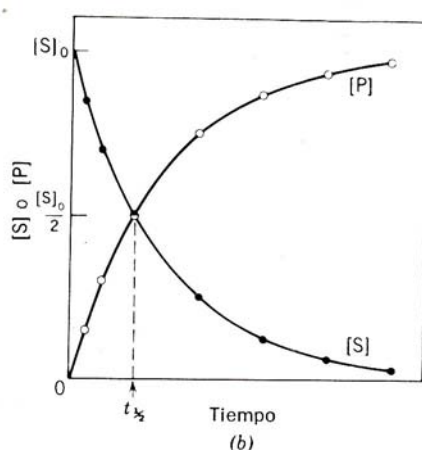
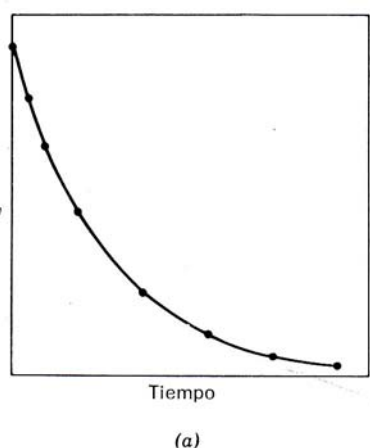
$$-\frac{d[S]}{dt} = v = k[S]$$

La cantidad de S consumido en un pequeño intervalo de tiempo.....

es decir la velocidad...

es una determinada fracción constante.....

del sustrato presente en ese momento



Región de primer orden de la curva de velocidad. (a) v disminuye continuamente con el tiempo. (b) la aparición de P y la desaparición de S no son lineales con el tiempo.

$$-\frac{d[S]}{[S]} = k dt$$

$$v = -\frac{d[S]}{dt} = k[S] \quad \text{o} \quad -\frac{d[S]}{[S]} = k dt$$

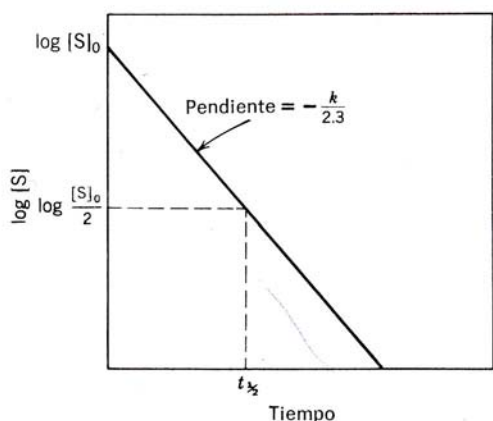
Integrando entre dos concentraciones diferentes de sustrato, $[S]_0$ y $[S]$, y entre los correspondientes tiempos, t_0 y t :

$$-\int_{[S]_0}^{[S]} \frac{d[S]}{[S]} = k \int_{t_0}^t dt; \quad \ln \frac{[S]_0}{[S]} = k(t - t_0) \quad \text{o} \quad 2.3 \log \frac{[S]_0}{[S]} = k(t - t_0)$$

Si $[S]_0$ = concentración de sustrato inicial y t_0 = tiempo cero entonces:

$$2.3 \log \frac{[S]_0}{[S]} = kt \quad \text{o} \quad [S] = [S]_0 e^{-kt} \quad \text{o} \quad \text{también} \quad \log [S] = -\frac{k}{2.3} t + \log [S]_0$$

Pendiente = $-k / 2.3$; corte en ordenadas = $\log [S]_0$; corte en abcisas = $2.3 \log [S]_0 / k$



Cuando $[S] = 1/2 [S]_0$, $t =$ vida media

$$2.3 \log \frac{[S]_0}{1/2 [S]_0} = kt; \quad 2.3 \frac{\log 2}{k} = t_{1/2} =$$

$$\frac{0.693}{k} = t_{1/2} = \text{"vida media"}$$

Representación semilogarítmica de la ecuación integrada de velocidad de primer orden

Reacciones de segundo orden

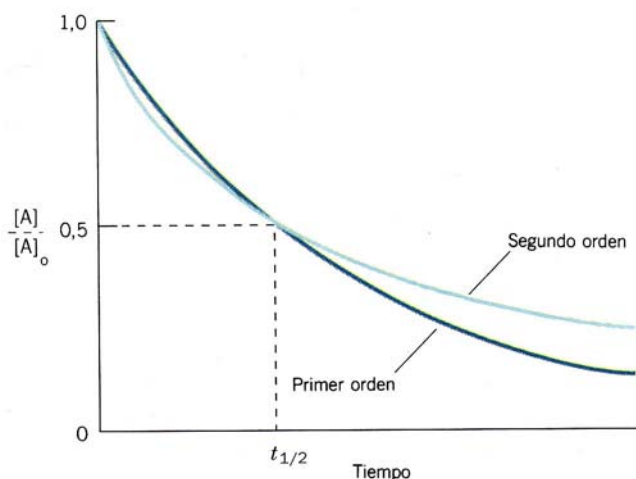
Para reacciones de segundo orden tales como: $2 A \rightarrow P$: $v = - \frac{d[A]}{dt} = k [A]^2$ (1)

Mientras que para reacciones como: $A + B \rightarrow P$: $v = - \frac{d[A]}{dt} = - \frac{d[B]}{dt} = k [A] [B]$

Reordenando la ecuación (1) e integrándola dentro de los mismos límites utilizados para la reacción de primer orden, se obtiene:

$$\int_{[A]_0}^{[A]} - \frac{d[A]}{[A]^2} = k \int_{t_0}^t dt \text{ de modo que: } \frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt \quad (2)$$

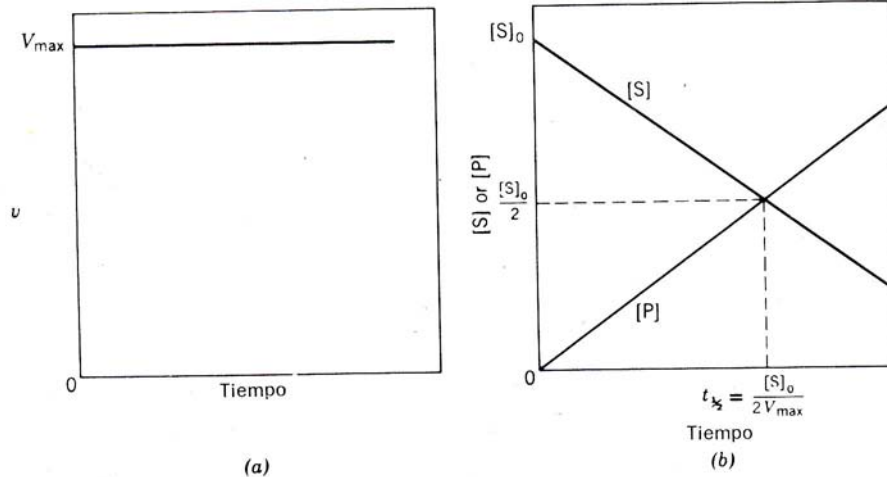
La ecuación (2) es una ecuación lineal en términos de las variables $1/[A]$ y t . Por consiguiente se pueden utilizar las representaciones de $\ln[A]$ frente a t y $1/[A]$ frente a t para distinguir una reacción de primer orden de una de segundo orden, observando simplemente cual de las dos representaciones es una línea recta.



Comparación de las curvas de progreso de reacciones de primer y segundo orden que tienen el mismo valor de $t_{1/2}$. Obsérvese que antes del primer tiempo medio la curva de progreso de segundo orden desciende más abruptamente que la curva de primer orden, pero después de este tiempo la curva de progreso de primer orden es la que desciende más rápidamente.

Reacciones de orden cero

A efectos prácticos, la velocidad es constante e independiente de $[S]$. Las representaciones de $[S]$ frente al tiempo y de $[P]$ frente al tiempo son lineales.



Orden cero de la curva de velocidad. (a) la velocidad es constante a lo largo del tiempo. (b) P aparece y S desaparece linealmente con el tiempo.

Las enzimas alteran las velocidades de reacción pero no los equilibrios

Una enzima acelera tanto la reacción directa como la inversa. No modifica el equilibrio de la reacción. Por tanto, los enzimas aceleran la consecución del equilibrio, pero no varían su posición. La posición del equilibrio es una función que depende sólo de la diferencia de energía libre entre los reactivos y los productos.

La variación de energía libre de la reacción, es la diferencia de energía libre de los productos menos la energía libre de los sustratos.

La energía de activación ΔG^\ddagger es la energía mínima necesaria para que se de una reacción.

El estado de transición se observa como una fase transitoria inestable “a medio camino”, en el que los enlaces y las orientaciones se distorsionan. Una vez que los reactivos han sobrepasado el obstáculo energético y han alcanzado el estado de transición, forman los productos a una velocidad que es independiente de la temperatura y de la naturaleza de los reactivos.

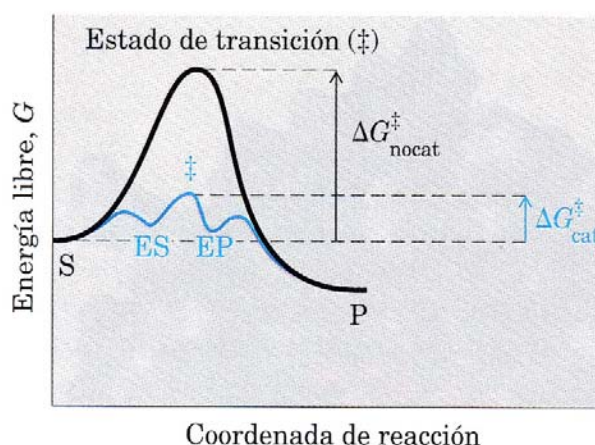
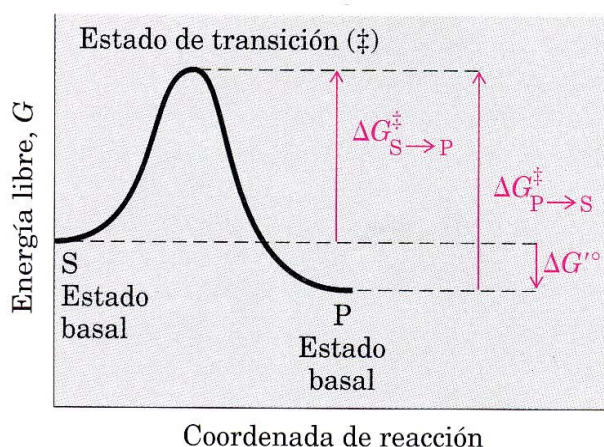
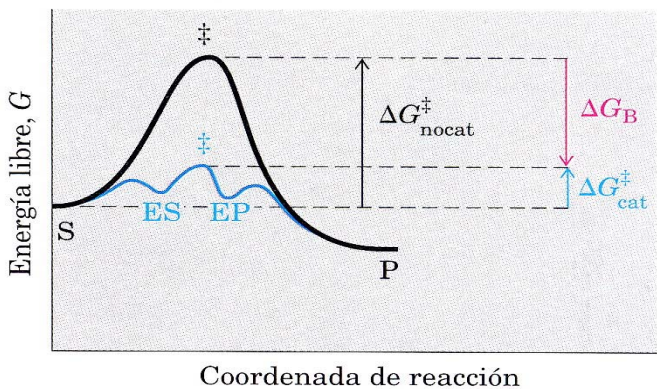


Diagrama de la coordenada de reacción de una reacción química. Se representa la energía libre del sistema frente al progreso de la reacción. Un diagrama de este tipo constituye una descripción de las variaciones energéticas durante la reacción y el eje horizontal (coordenada de reacción) refleja las variaciones químicas progresivas (p. ej., rotura o formación de enlaces) a medida que S se convierte en P. Se indican las energías de activación, ΔG^\ddagger , para las reacciones $S \rightarrow P$ y $P \rightarrow S$. $\Delta G'^0$ es la variación de energía libre estándar global al ir de $S \rightarrow P$.

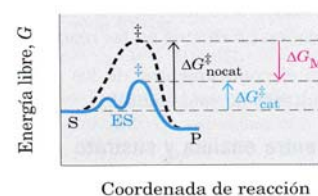
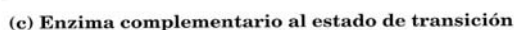
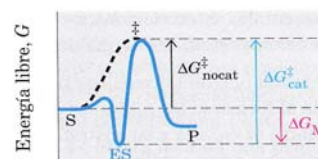
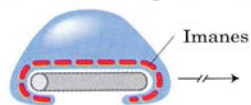
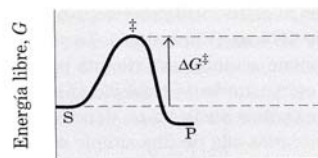
Diagrama de la coordenada de reacción en el que se comparan las reacciones catalizadas por enzima y sin catalizar. En la reacción $S \rightarrow P$, los intermedios ES y EP ocupan mínimos en la curva de progreso energético de la reacción catalizada enzimáticamente. Los términos $\Delta G_{\text{nocat}}^\ddagger$ y $\Delta G_{\text{cat}}^\ddagger$ corresponden a las energías de activación de las reacciones sin catalizar y catalizada, respectivamente. La energía de activación del proceso global es menor cuando el enzima cataliza la reacción.

Papel de la energía de fijación en la catálisis



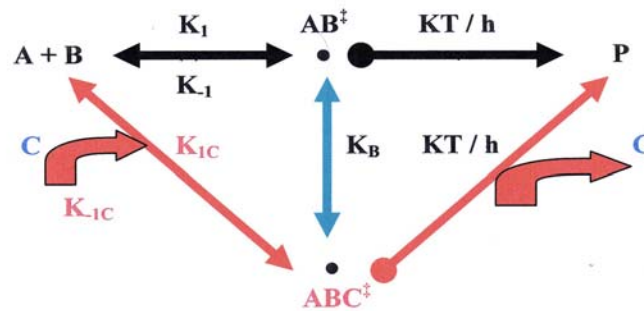
Para disminuir la energía de activación de una reacción el sistema ha de adquirir una cantidad de energía equivalente a la cantidad en que disminuye ΔG^\ddagger . Esta energía procede mayoritariamente de la energía de fijación (ΔG_B) conseguida en la formación de interacciones no covalentes débiles entre sustrato y enzima en el estado de transición. El papel de ΔG_B es análogo al de ΔG_M en la figura de abajo.

La energía de fijación contribuye a la especificidad y a la catálisis



Enzima imaginario diseñado para catalizar la rotura de una vara metálica. (a) Para que se rompa la vara primero se ha de doblar (estado de transición). En los dos ejemplos las interacciones magnéticas ocupan el lugar de las interacciones por enlaces débiles entre enzima y sustrato. (b) Un enzima con una bolsa forrada con imanes que sea complementaria en su estructura a la vara (sustrato) estabiliza el sustrato. El doblado estará impedido por la atracción magnética entre la vara y el enzima. (c) Un enzima complementario al estado de transición de la reacción ayudará a desestabilizar la vara contribuyendo a la catálisis de la reacción. Las interacciones magnéticas proporcionan energía de fijación que compensa el incremento de energía libre requerido para doblar la vara. Los diagramas de la coordenada de reacción muestran las consecuencias energéticas de la complementariedad con el sustrato frente a la complementariedad con el estado de transición (se han omitido los complejos (EP)). El término ΔG_m representa la diferencia entre las energías del estado de transición de las reacciones catalizadas y sin catalizar dada por las interacciones magnéticas entre la vara y el enzima. Cuando el enzima es complementario al sustrato (b), el complejo ES es más estable y tiene menos energía libre en el estado basal que el sustrato solo. El resultado es un incremento de la energía de activación.

Sea la siguiente reacción:



Reacción no catalizada:

K_1 = constante de formación del estado de transición

K_{-1} = constante de descomposición del estado de transición

$$K_{eq} = \frac{K_1}{K_{-1}} = \frac{[AB^\ddagger]}{[A][B]}; \text{ Si } K_{-1} \text{ es muy pequeña, entonces } K_{eqnc} = K_1$$

Reacción catalizada:

K_{1C} = constante de formación del estado de transición

K_{-1C} = constante de descomposición del estado de transición

$$K_{eq} = \frac{K_{1C}}{K_{-1C}} = \frac{[ABC^\ddagger]}{[A][B][C]}; \text{ Si } K_{-1C} \text{ es muy pequeña, entonces } K_{eqc} = K_{1C}$$

KT/h = constante de descomposición del estado de transición en ambos casos

K_{nc} = constante de la reacción no catalizada

K_c = constante de la reacción catalizada

$$K_c = \frac{KT}{h} \frac{[ABC^\ddagger]}{[A][B][C]};$$

$$K_{nc} = \frac{KT}{h} \frac{[AB^\ddagger]}{[A][B]}$$

$$\frac{K_c}{K_{nc}} = \frac{\frac{KT}{h} \frac{[ABC^\ddagger]}{[A][B][C]}}{\frac{KT}{h} \frac{[AB^\ddagger]}{[A][B]}} = \frac{[ABC^\ddagger]}{[AB^\ddagger][C]} = K_B$$

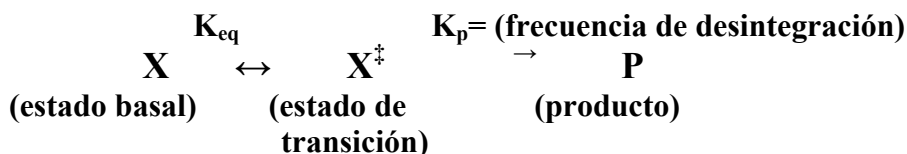
L. Pauling.

1) El aumento en la velocidad de reacción producido por el catalizador es proporcional a la constante de afinidad del catalizador por el estado de transición.

2) Para acelerar la reacción hay que diseñar un catalizador que se una bien al estado de transición no a los reactivos

Los enzimas funcionan disminuyendo la energía de activación o, en otras palabras, los enzimas facilitan la formación del estado de transición.

El análisis para una reacción unimolecular es como sigue: Supóngase el siguiente equilibrio



La velocidad de la reacción es proporcional a la concentración de $[X^\ddagger]$

$$\text{Velocidad} = k_p [X^\ddagger]$$

La diferencia de energía libre entre el estado de transición X^\ddagger , y el estado basal, X es ΔG^\ddagger ; entonces tenemos que:

$$\Delta G = -RT \ln K; \quad \Delta G^\ddagger = -RT \ln \frac{[X^\ddagger]}{[X]}; \quad [X^\ddagger] = [X] e^{-\Delta G^\ddagger / RT}$$

La frecuencia con que se descompone el estado de transición es la misma que la frecuencia vibracional ν del enlace que se está rompiendo

Según la teoría cuántica $E = h\nu$; y según la física clásica (física estadística) la probabilidad de que una molécula posea tal magnitud de energía en una población de moléculas es $E = KT$; por tanto: $\nu = KT / h$. Donde K es la constante de Boltzmann y h la constante de Planck. A 25° C, $\nu = 6.212 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

La velocidad de descomposición de X viene dada por:

$$- d[X] / dt = \nu [X^\ddagger]$$

$$- d[X] / dt = (KT / h) e^{(-\Delta G^\ddagger / RT)} [X];$$

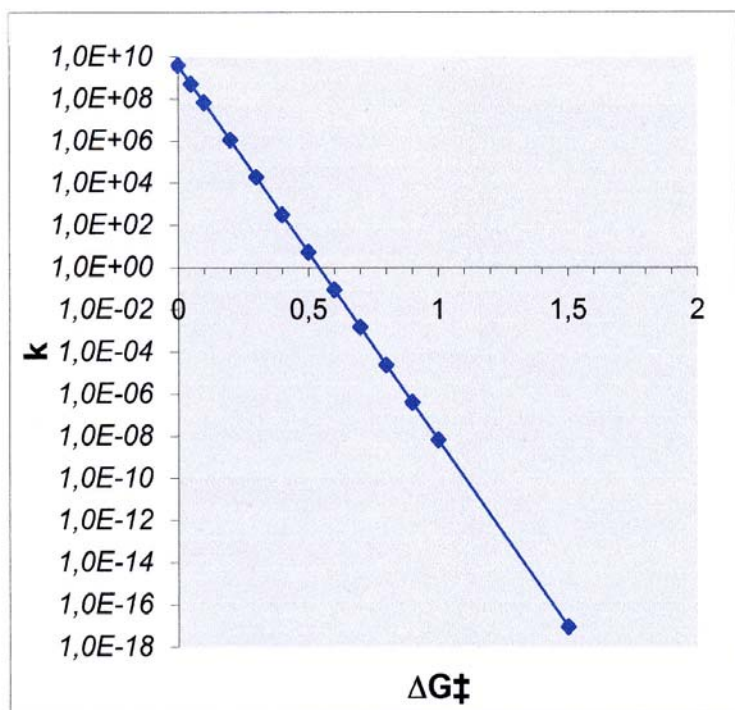
La constante de velocidad de primer orden para la descomposición de X viene dada por:

$$K = (KT / h) e^{(-\Delta G^\ddagger / RT)}$$

$$\log K = - \frac{\Delta G^\ddagger}{2.3 R} \frac{1}{T} + \log (KT/h)$$

Ecuación de Arrhenius

energía de activación



ΔG^\ddagger kJ/mol

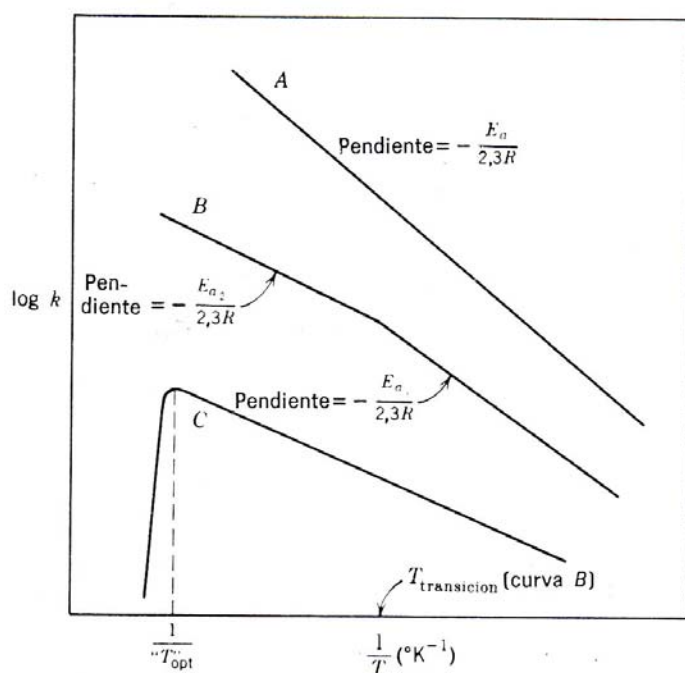
k

1,5	8,988E-18
1	6,919E-09
0,9	4,143E-07
0,8	2,481E-05
0,7	1,485E-03
0,6	8,895E-02
0,5	5,326E+00
0,4	3,189E+02
0,3	1,910E+04
0,2	1,144E+06
0,1	6,847E+07
0,05	5,298E+08
0	4,100E+09

$$K = (KT / h) e^{(-\Delta G^\ddagger / RT)} \text{ (1º orden)}$$

$$K_{\text{cat}} = Z \rho e^{-E_a / RT} \text{ (2º orden)}$$

- 1) Z = frecuencia de colisión $\approx 7 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- 2) ρ = fracción de moléculas que se encuentran en la buena orientación
- 3) energía de activación.



La energía de activación, E_a , para una reacción puede determinarse midiendo la constante de velocidad a diferentes temperaturas y representando $\log k$ frente a $1/T$. Para reacciones catalizadas enzimáticamente, se puede representar $\log V_{\text{max}} / [E]_t$ o sólo $\log V_{\text{max}}$. Curva A: la curva normal. Curva B: algunas veces la representación mostrará un cambio definido en la pendiente si a una temperatura el proceso limitante de la velocidad es diferente. Curva C: una caída rápida en la representación indica una inactivación enzimática.

Características de los enzimas

1) Aceleran las reacciones multiplicando su velocidad por un millón de veces e incluso más

Incremento de la velocidad de reacción de algunos enzimas

Enzima	Vida media no enzimática	Velocidad no catalizada (k_{un} , s^{-1})	Velocidad catalizada (k_{cat} , s^{-1})	Incremento de velocidad (k_{cat}/k_{un})
OMP descarboxilasa	78,000,000 años	2.8×10^{-16}	39	1.4×10^{17}
Nucleasa de estafilococos	130,000 años	1.7×10^{-13}	95	5.6×10^{14}
AMP nucleosidasa	69,000 años	1.0×10^{-11}	60	6.0×10^{12}
Carboxipeptidasa A	7.3 años	3.0×10^{-9}	578	1.9×10^{11}
Cetoesteroide isomerasa	7 semanas	1.7×10^{-7}	66,000	3.9×10^{11}
Triosa fosfatoisomerasa	1.9 días	4.3×10^{-6}	4,300	1.0×10^9
Corismato mutasa	7.4 horas	2.6×10^{-5}	50	1.9×10^6
Anhidrasa carbónica	5 segundos	1.3×10^{-1}	1×10^6	7.7×10^6

Abreviaturas: OMP, orotidina monofosfato; AMP, adenosina monofosfato

Fuente: A. Radzicka y R. Wotenden. *Science* 267 (1995):90-93.

2) Son altamente específicas, Una enzima cataliza normalmente una sola reacción química o un grupo estrechamente relacionadas, a diferencia de las reacciones no catalizadas, en las reacciones catalizadas por enzimas son raras las reacciones colaterales que conducen a la formación de productos secundarios.

3) Son regulables. Por ejemplo: Alosteroismo

4) La mayoría de los enzimas son proteínas. Con la excepción de un pequeño grupo de moléculas de RNA catalítico, todos los enzimas son proteínas.

5) Composición. Muchos enzimas requieren cofactores para su actividad.

$$\text{apoenzima} + \text{cofactor} = \text{holoenzima}$$

Los cofactores:

a) metales

b) moléculas orgánicas pequeñas ó molécula metalo-orgánica denominado coenzima

Un coenzima o ión metálico unido muy fuertemente o incluso covalentemente a la proteína enzimática se denomina grupo prostético.

Algunos elementos inorgánicos que actúan como cofactores enzimáticos

Cu^{2+}	Citocromo oxidasa
Fe^{2+} o Fe^{3+}	Citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa
K^{+}	Piruvato quinasa
Mg^{2+}	Hexoquinasa, glucosa 6-fosfatasa, piruvato quinasa
Mn^{2+}	Arginasa, ribonucleótido reductasa
Mo	Dinitrogenasa
Ni^{2+}	Ureasa
Se	Glutación peroxidasa
Zn^{2+}	Carbónico anhidrasa, alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasas A y B

Algunos coenzimas que actúan como portadores transitorios de átomos o grupos funcionales específicos*

Coenzima	Ejemplos de grupos químicos transferidos	Precursor en la dieta para los mamíferos
Biotina	CO ₂	Biotina
Coenzima A	Grupos acilo	Ácido pantoténico y otros compuestos
5'-Desoxiadenosilcobalamina (coenzima B ₁₂)	Átomo de H y grupos alquilo	Vitamina B ₁₂
Flavina adenina dinucleótido	Electrones	Riboflavina (vitamina B ₂)
Lipoato	Electrones y grupos acilo	No necesario en la dieta
Nicotinamida adenina dinucleótido	Ion hidruro (:H ⁻)	Ácido nicotínico (niacina)
Piridoxal fosfato	Grupos amino	Piridoxina (vitamina B ₆)
Tetrahidrofolato	Grupos monocarbonados	Folato
Pirofosfato de tiamina	Aldehídos	Tiamina (vitamina B ₁)

Nomenclatura. Los enzimas se clasifican según la reacción que catalizan

A cada enzima se le asigna un número clasificatorio de cuatro dígitos y un nombre sistemático que identifica la reacción catalizada. Por ejemplo:



Nombre sistemático: ATP: glucosa fosfotransferasa. Número EC = 2.7.1.1

2 Nombre de la clase (transferasa)

7 la subclase (fosfotransferasa)

1 fosfotransferasa con un grupo hidroxilo como aceptor

1 D-glucosa como aceptor del grupo fosforilo

Nombre sencillo: hexoquinasa

Clasificación internacional de enzimas*

N.º	Clase	Tipo de reacción catalizada
1	Oxidoreductasas	Transferencia de electrones (iones hidruro o átomos de H)
2	Transferasas	Reacciones de transferencia de grupos
3	Hidrolasas	Reacciones de hidrólisis (transferencia de grupos funcionales al agua)
4	Liasas	Adición de grupos a dobles enlaces, o formación de dobles enlaces por eliminación de grupos
5	Isomerasas	Transferencia de grupos dentro de moléculas dando formas isoméricas
6	Ligasas	Formación de enlaces C—C, C—S, C—O y C—N mediante reacciones de condensación acopladas a la rotura de ATP

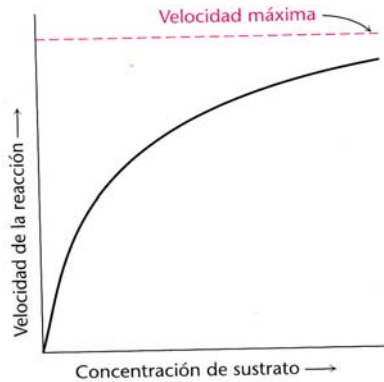
*La mayoría de enzimas catalizan la transferencia de electrones, átomos o grupos funcionales. Por tanto, se clasifican y se les asigna número de código y nombre según el tipo de reacción de transferencia, grupo donador y grupo aceptor.

La primera etapa de la catálisis enzimática es la formación de un complejo enzima sustrato:

Evidencias de que se forman los complejos enzima sustrato

a) estudios cinéticos.

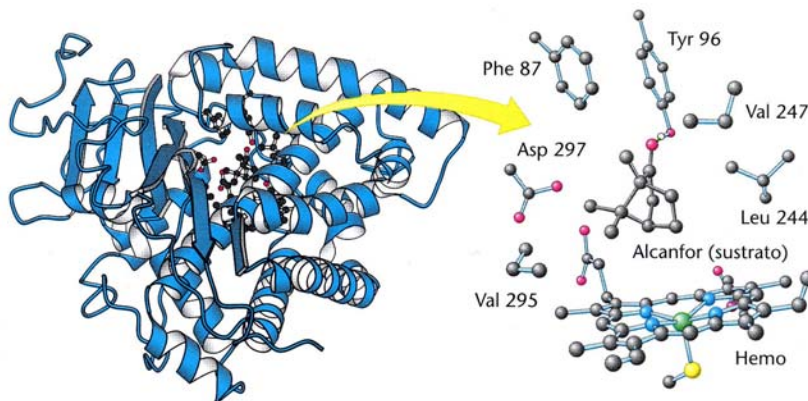
El hecho de que una reacción catalizada por un enzima tenga una velocidad máxima sugiere la formación de un complejo enzima-sustrato (ES) discreto.



La velocidad de una reacción catalizada por un enzima es función de la concentración de sustrato, una reacción enzimática alcanza una velocidad máxima.

b) La cristalografía por rayos X.

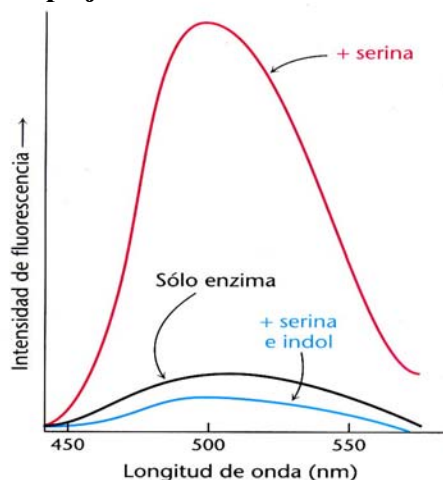
Esta técnica ha proporcionado imágenes de alta resolución de sustratos y análogos de sustratos unidos a los centros activos de muchos enzimas



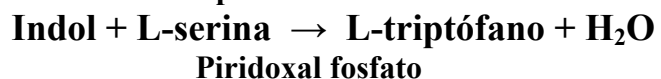
Estructura de un complejo enzima-sustrato. (izquierda) Se ilustra al enzima citocromo P-450 unido a su sustrato alcanfor. (derecha) En el centro activo, el sustrato está rodeado por residuos del enzima. Observar también la presencia del cofactor hemo.

c) Las características espectroscópicas.

El espectro de absorción de muchos enzimas y sustratos cambian con la formación del complejo ES.



Triptófano sintetasa



Cambios de las características espectroscópicas en la formación de un complejo enzima-sustrato. La intensidad de fluorescencia del grupo piridoxal fosfato en el centro activo de la triptófano sintetasa cambia por la adición de serina e indol, los sustratos.

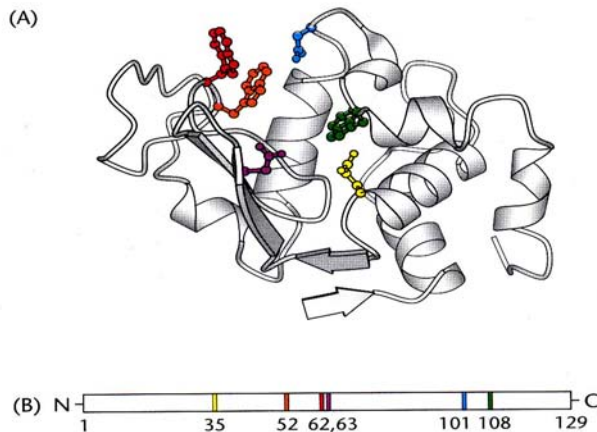
Características comunes de los centros activos de los enzimas

Definición:

El centro activo de un enzima es la región que se une al sustrato (y al grupo prostético, si existe). Contiene los residuos que participan directamente en la formación y ruptura de enlaces; estos residuos se denominan grupos catalíticos. En definitiva, la interacción del enzima y el sustrato en el centro activo hace posible la formación del estado de transición.

Características:

1) El centro activo es una hendidura tridimensional formada por grupos que provienen de diferentes partes de la secuencia lineal de aminoácidos.



Los centros activos pueden incluir residuos muy distantes. (A) Modelo de cintas del enzima lisozima, donde se muestran los componentes del centro activo en colores diferentes. (B) Diagrama esquemático de la estructura primaria de la lisozima donde se muestra que el centro activo está formado por residuos que proceden de diferentes segmentos de la cadena polipeptídica.

2) El centro activo supone una porción relativamente pequeña del volumen total del enzima. La mayoría de los residuos de aminoácidos de un enzima no están en contacto con el sustrato.

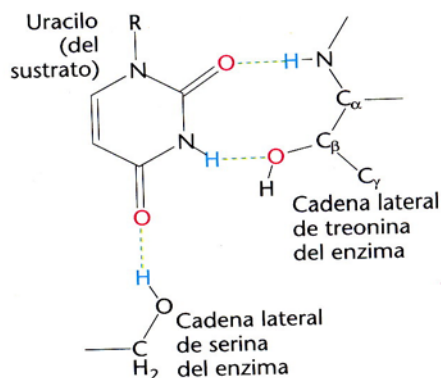
¿Entonces cuál es su función:

- los aa “extras” sirven como andamiaje para crear el sitio activo tridimensional
- pueden constituir centros reguladores
- centros de interacción con otras proteínas
- formar conductos para atraer los sustratos hacia el centro activo

3) Los centros activos son hoyos o hendiduras

- para la exclusión del agua, salvo que sea un componente de la reacción
- el carácter no polar aumenta la unión por el sustrato y la catálisis
- se crea un microambiente en el que los residuos polares adquieren propiedades especiales para la unión del sustrato y la catálisis.

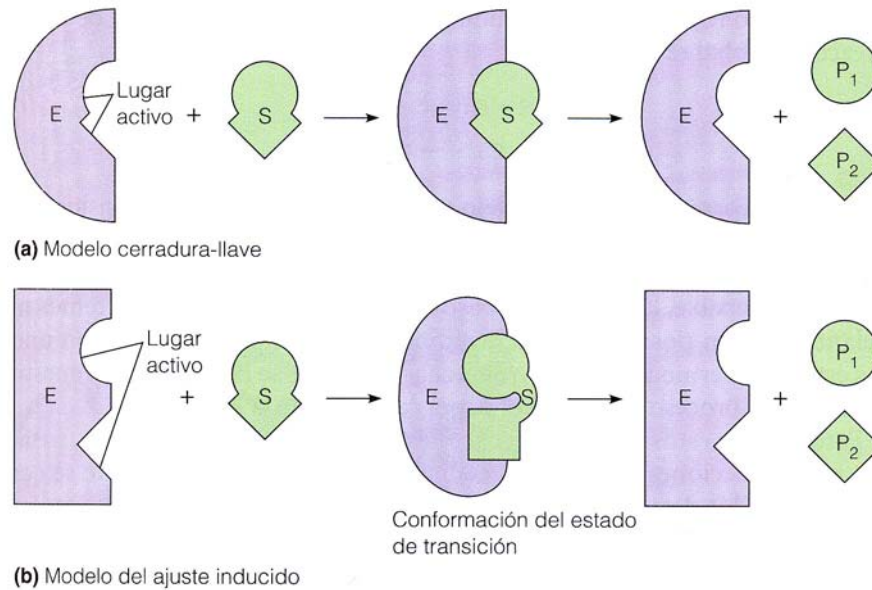
4) Los sustratos se unen a los enzimas por numerosas fuerzas débiles.



Interacciones por puentes de hidrógeno entre el enzima y su sustrato. El enzima ribonucleasa forma puentes de hidrógeno con el anillo de uridina del sustrato.

Los complejos ES tienen normalmente valores de K_d entre 10^{-2} a 10^{-8} M, que corresponden a energías libres de interacción de unos -13 a -50 kJ / mol

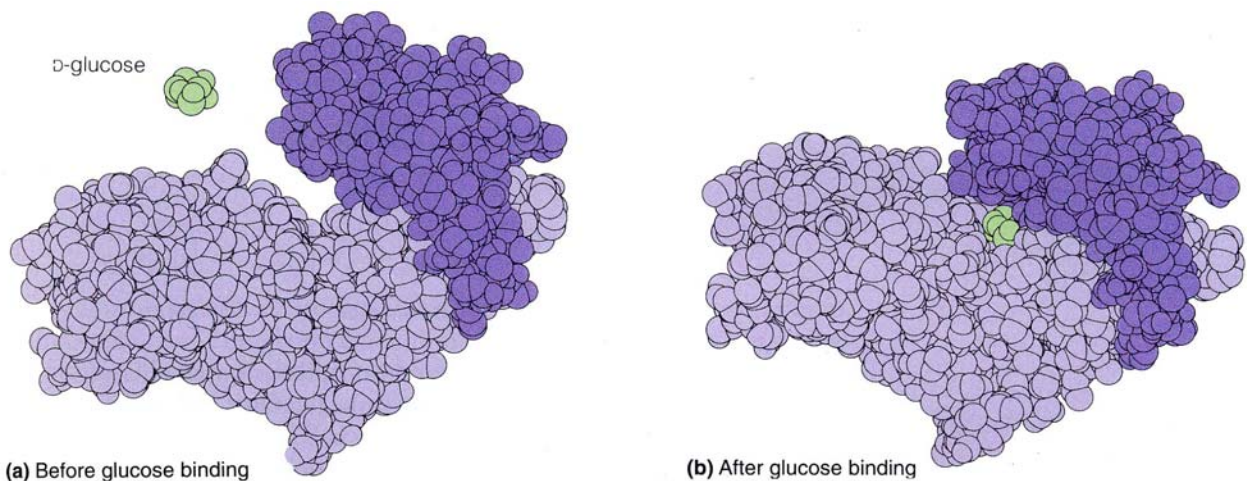
5) La especificidad del enlace depende de la disposición exactamente definida de los átomos del centro activo.



Dos modelos de la interacción enzima-sustrato. En este ejemplo la enzima cataliza una reacción de fragmentación:

(a) Modelo de la llave y la cerradura para la interacción enzima-sustrato. En este modelo, el centro activo del enzima por sí mismo es complementario a la forma del sustrato.

(b) Modelo del ajuste inducido. El enzima cambia de forma en la unión con el sustrato. El centro activo tiene una forma complementaria a la del sustrato solamente después que el sustrato se une a él. Tanto el enzima como el sustrato sufren una distorsión al unirse. Se fuerza al sustrato a adoptar una conformación que se aproxima al estado de transición; el enzima mantiene el sustrato en tensión.



Cambio conformacional inducido en la hexoquinasa. La unión de la glucosa a la hexoquinasa induce un cambio conformacional importante en la enzima. Esta es una única cadena polipeptídica, pero sus dos dominios principales se han sombreado de manera diferente para diferenciarlos. Obsérvese como se cierra la hendidura existente entre los dominios alrededor de la molécula de glucosa.