Enzimas

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en farmeandopau.com ›

Última revisión: 24 de octubre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

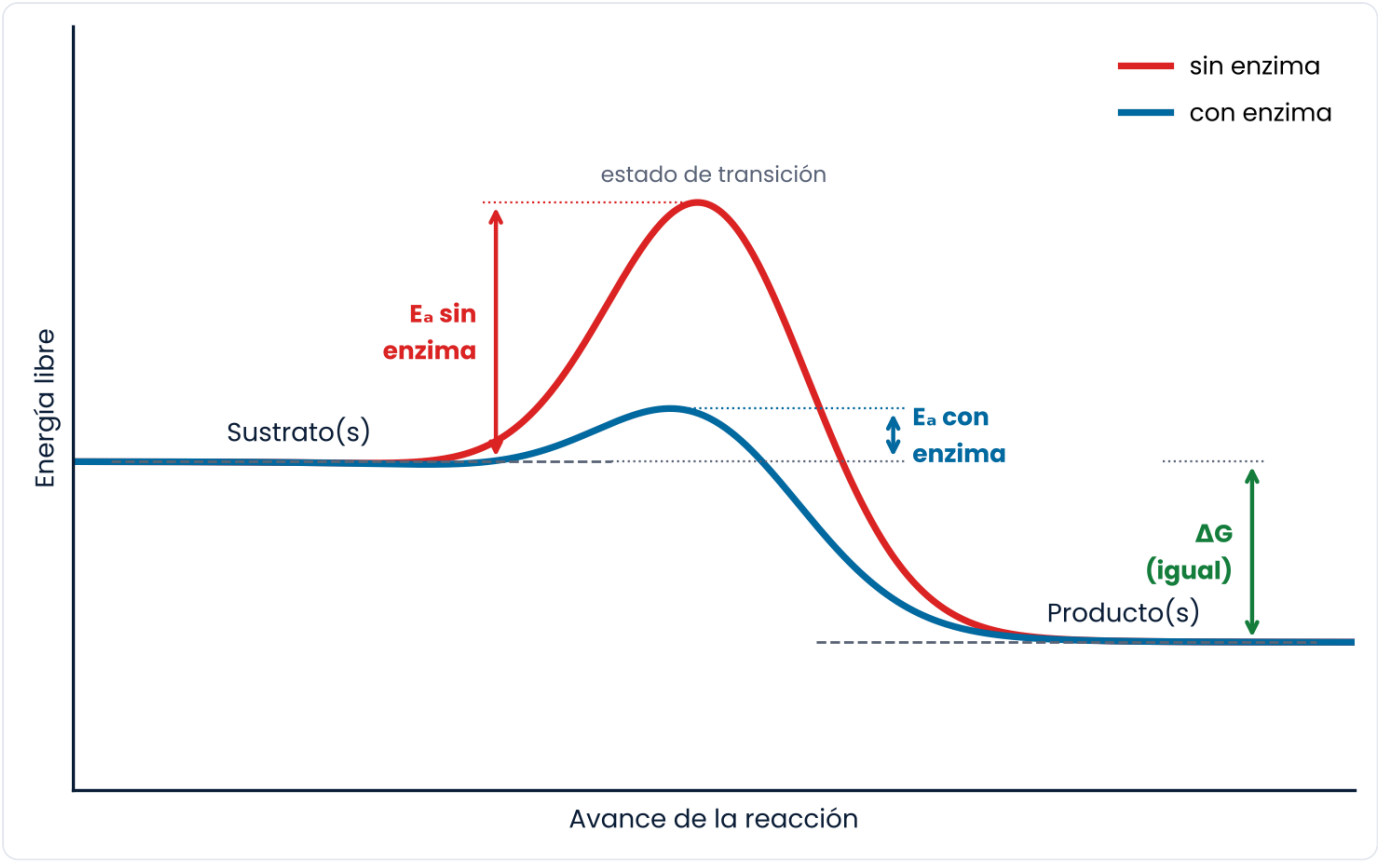
LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

Las **enzimas** son **biocatalizadores**, casi todas proteínas: aceleran las reacciones del metabolismo porque **bajan la energía de activación**, sin gastarse y sin cambiar el balance energético. El sustrato se une al **centro activo** y forma el **complejo enzima-sustrato**, de ahí su **especificidad**. Muchas necesitan un **cofactor** (ion metálico o **coenzima**, a menudo derivada de una **vitamina**). Su velocidad depende de la **concentración de sustrato** (**Vmax** y **Km**), la **temperatura** y el **pH**, y puede frenarse con **inhibidores** o regularse por **alosterismo**.

1 Qué es una enzima y cómo acelera las reacciones

Todas las comunidades lo preguntan como definición o con la gráfica de energía de una reacción con y sin enzima (Madrid 2026, Aragón 2026).

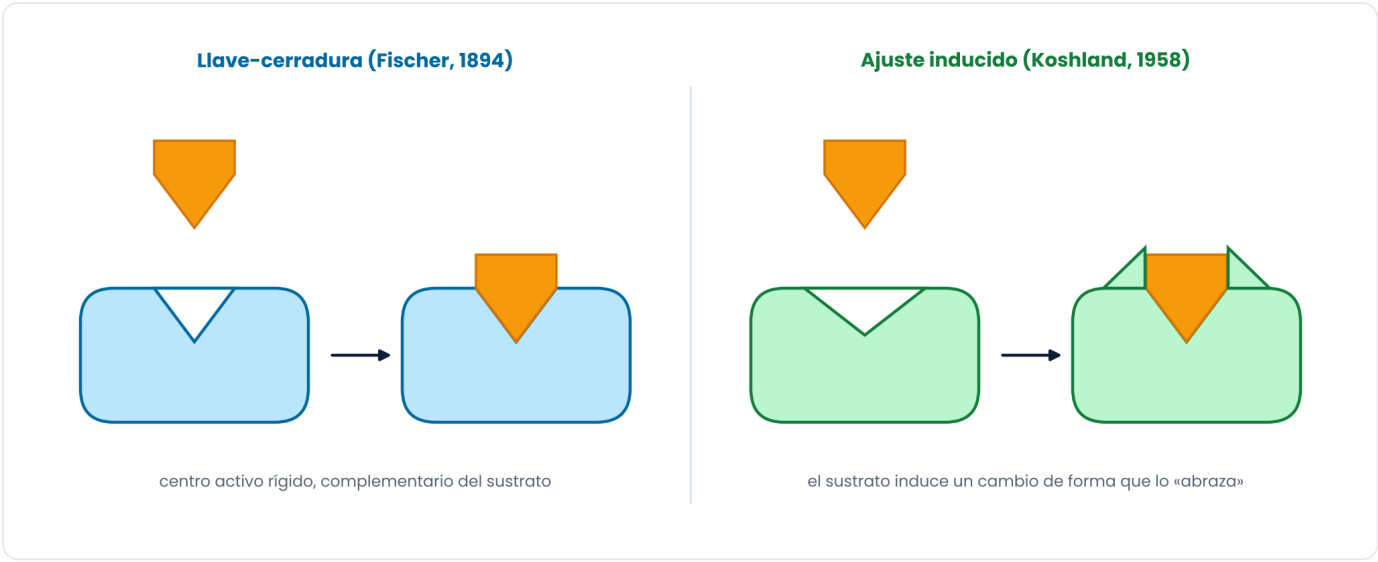
- **Enzima**: **biocatalizador** que acelera una reacción química concreta del organismo. Casi todas son **proteínas globulares**; hay también **ARN catalíticos (ribozimas)**, como el ARN ribosómico que forma el enlace peptídico. Thomas Cech y Sidney Altman descubrieron los primeros ARN catalíticos (un intrón que se corta a sí mismo y la ribonucleasa P) y recibieron el Nobel de Química de 1989.
- Para que una reacción ocurra, los reactivos deben alcanzar un **estado de transición** de alta energía: la energía necesaria es la **energía de activación (E_a)**. La enzima **la disminuye**, de modo que muchas más moléculas reaccionan por segundo a la temperatura del cuerpo.
- **No cambia el balance energético** (la ΔG de la reacción es la misma) ni el **equilibrio**: solo hace que se alcance antes. No hace posibles reacciones imposibles.
- **No se consume**: sale intacta y vuelve a actuar; por eso basta con **muy poca cantidad**.
- Propiedades que puntúan: **gran eficacia** (aceleran millones de veces o más), **especificidad**, actúan en **condiciones suaves** (37 °C, pH cercano a 7, en humanos) y son **regulables**.
- Los catalizadores inorgánicos también bajan la E_a, pero no son tan específicos, ni tan eficaces, ni se regulan.



Energía de activación con y sin enzima. La enzima baja la barrera del estado de transición (E_a), pero sustratos y productos tienen la misma energía en los dos casos: la variación de energía libre (ΔG) no cambia. Curvas ilustrativas.

2 Centro activo, complejo enzima-sustrato y especificidad

- **Sustrato**: molécula sobre la que actúa la enzima. **Centro activo**: pequeña región de la enzima, a menudo una **hendidura**, donde se une el sustrato y ocurre la catálisis. Está formado por unos pocos aminoácidos que pueden estar **lejos en la secuencia** pero quedan juntos al plegarse la proteína (estructura terciaria, Tema 5).
- En el centro activo hay **aminoácidos de unión o fijación**, que sujetan el sustrato mediante **enlaces débiles** (puentes de hidrógeno, iónicos, interacciones hidrofóbicas), y **aminoácidos catalíticos**, que participan en la reacción. El resto de la proteína mantiene la forma del centro activo.
- Mecanismo: $\mathrm{E} + \mathrm{S} \rightleftharpoons \mathrm{ES} \rightarrow \mathrm{E} + \mathrm{P}$. La enzima y el sustrato forman el **complejo enzima-sustrato (ES)**; en él el sustrato se transforma y se liberan los **productos** y la enzima, intacta.
- **Especificidad**: cada enzima actúa sobre un sustrato o un grupo de sustratos (**especificidad de sustrato**) y cataliza un tipo de reacción (**especificidad de acción**). Se debe a la **complementariedad** de forma y de cargas entre el centro activo y el sustrato.
- **Modelo llave-cerradura** (Emil Fischer, 1894): el centro activo es rígido y tiene la forma exacta del sustrato. **Modelo del ajuste inducido** (Daniel Koshland, 1958): el centro activo es flexible y **cambia de forma al unirse el sustrato**, que queda «abrazado». El segundo es el que se acepta hoy para la mayoría de enzimas (Galicia pide los dos).



Dos modelos de la unión enzima-sustrato. En el de llave-cerradura el centro activo ya tiene la forma del sustrato; en el de ajuste inducido es flexible y se adapta al unirse.

3 Cofactores, coenzimas y vitaminas

Definiciones muy preguntadas (Castilla y León, Cantabria, País Vasco, Madrid, Extremadura). Fíjate en el vocabulario exacto.

- **Apoenzima**: la parte proteica de una enzima que necesita un cofactor; sola es **inactiva**. **Cofactor**: componente no proteico necesario para la actividad. **Holoenzima** = apoenzima + cofactor: la enzima **activa**.
- Los cofactores pueden ser **iones inorgánicos** (Mg^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}/Fe^{3+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}…) o **moléculas orgánicas**, las **coenzimas**. Ejemplos: el **Mg^{2+}** de las enzimas que usan ATP, el **Cu^{2+}** de la tirosinasa (Cataluña, 2026) o el **Zn^{2+}** de la anhidrasa carbónica.
- Si el cofactor está unido muy fuerte (a veces covalentemente) se llama **grupo prostético** (por ejemplo, el **grupo hemo** de la catalasa).
- **Coenzimas**: moléculas orgánicas no proteicas que actúan como **transportadores** de electrones, de átomos de hidrógeno o de grupos químicos entre reacciones. Se unen de forma transitoria y **salen modificadas** (el NAD^+ sale como NADH), así que deben **regenerarse**. Una misma coenzima sirve a muchas enzimas.
- Coenzimas clave: **NAD^+/NADH** y **$NADP^+$/NADPH** (electrones e hidrógeno en oxidaciones y reducciones), **FAD/$FADH_2$** (igual, en el ciclo de Krebs y la β-oxidación), **coenzima A** (transporta grupos acilo: acetil-CoA) y el **ATP** (grupos fosfato y energía). Las verás en los temas 13 y 14.
- Muchas coenzimas **derivan de vitaminas**, sobre todo del **grupo B**: por eso una carencia de vitaminas frena rutas metabólicas enteras (Tema 7).

Vitamina	Coenzima que forma	Qué transporta o hace
B_2 (riboflavina)	FAD y FMN	Electrones e hidrógeno (oxidorreducciones)
B_3 (niacina)	NAD^+ y $NADP^+$	Electrones e hidrógeno (oxidorreducciones)
B_5 (ácido pantoténico)	Coenzima A	Grupos acilo (acetil-CoA)
B_1 (tiamina)	Tiamina pirofosfato (TPP)	Descarboxilaciones, como la del piruvato
B_6 (piridoxina)	Piridoxal fosfato	Grupos amino (transaminaciones)

Vitamina	Coenzima que forma	Qué transporta o hace
B_9 (ácido fólico)	Tetrahidrofolato	Grupos de un carbono (síntesis de nucleótidos)
B_{12} (cobalamina)	Metilcobalamina y adenosilcobalamina	Grupos metilo y reordenamientos

Castilla-La Mancha pide como ejemplos la B_2 (riboflavina → FAD) y la B_3 (niacina → NAD^+). Murcia, el complejo B como coenzimas.

«Cofactor» en sentido amplio y en sentido estricto

En los libros universitarios **cofactor** es todo componente no proteico (iones y coenzimas). Algunos criterios, como los de **Madrid** (2026), usan «cofactor» solo para los **iones inorgánicos** y «coenzima» para los orgánicos: como similitud, «ambas son moléculas no proteicas que se unen a las enzimas para facilitar su acción», y como diferencia, «los cofactores son moléculas inorgánicas y las coenzimas son moléculas orgánicas». Si te piden diferenciarlos, usa esa distinción y pon ejemplos (Mg^{2+} frente a NAD^+).

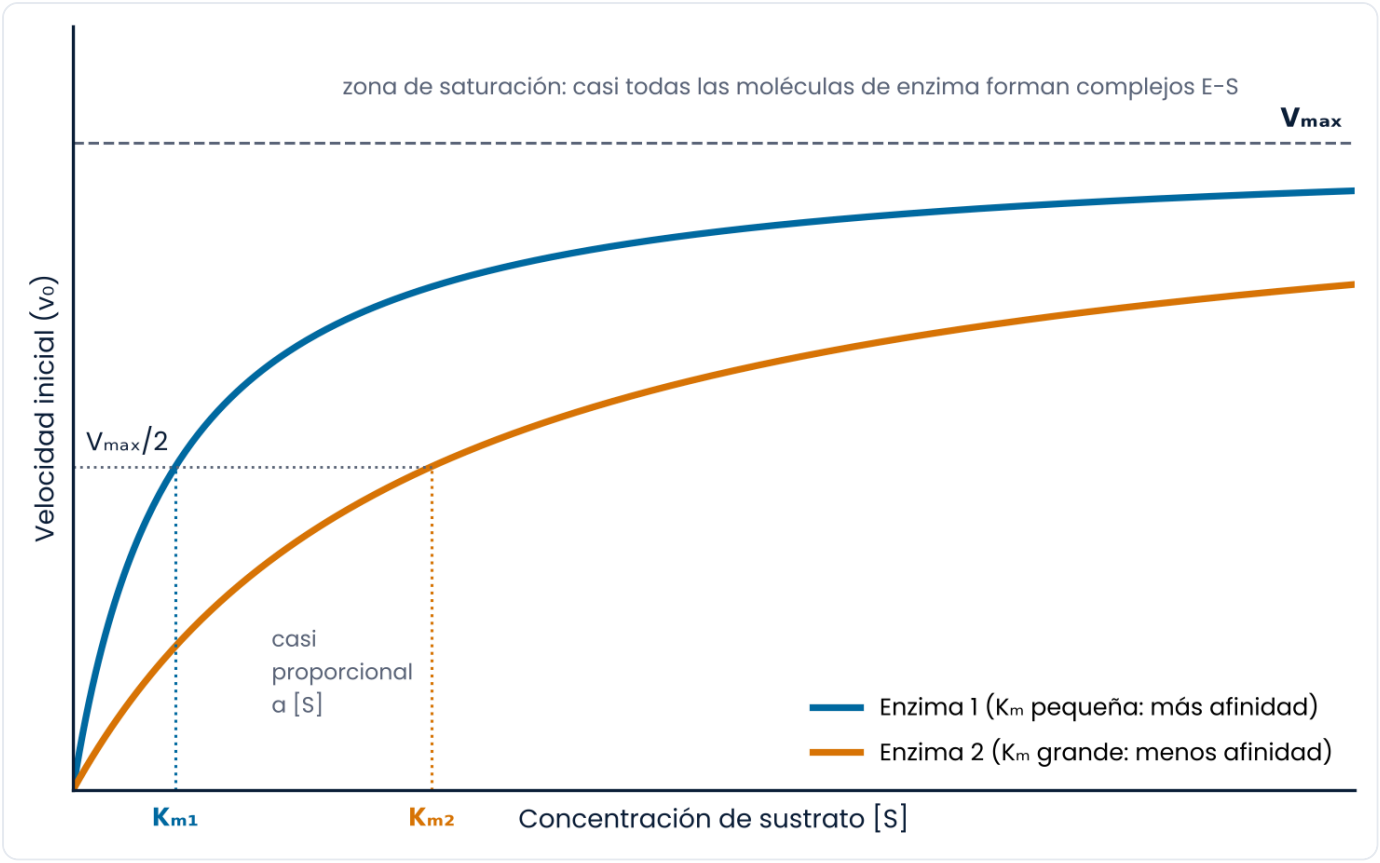
4 Cinética enzimática: Vmax y Km

Qué piden dónde. Gráfica de velocidad frente a [S] con Km y Vmax: Castilla-La Mancha (2026), La Rioja (2025 y 2026), País Vasco (2025), Castilla y León (modelo), Galicia, Comunitat Valenciana y Extremadura (Km y afinidad). La **ecuación de Michaelis-Menten** solo la exige expresamente **Baleares**; **Galicia** pide el mecanismo E + S ⇄ ES → E + P y calcular la Km en la gráfica, y **Castilla-La Mancha**, Vmax y Km en gráficas. **Andalucía** pide interpretar gráficas «sin necesidad de conocer las ecuaciones» y **Madrid** dice que «no es necesario que se conozca la cinética de Michaelis-Menten».

- La **velocidad** de una reacción enzimática depende de la **cantidad de enzima** (con sustrato de sobra, es proporcional a ella) y de la **concentración de sustrato [S]**.
- Con poca enzima fija, al aumentar [S] la velocidad **sube casi proporcionalmente** al principio, luego cada vez menos, y acaba en un máximo: la gráfica es una **hipérbola**.
- **Velocidad máxima (Vmax)**: velocidad cuando **todas las moléculas de enzima están ocupadas** formando complejos ES (**saturación**). Por más sustrato que añadas, ya no sube: el límite es la cantidad de enzima.
- **Constante de Michaelis (Km)**: **concentración de sustrato a la que la velocidad es la mitad de la máxima** (Vmax/2). Se expresa en unidades de concentración (mM, mol/L).
- La Km sirve como medida (aproximada) de la **afinidad** de la enzima por el sustrato: **Km pequeña = afinidad alta** (llega a Vmax/2 con poco sustrato); **Km grande = afinidad baja**. Cada enzima tiene una Km para cada sustrato (la RuBisCO tiene una Km mucho menor para el CO_2 que para el O_2: más afinidad por el CO_2; Comunitat Valenciana, modelo 2026).
- **Ecuación de Michaelis-Menten** (Michaelis y Menten, 1913):

$$v_0 = \frac{V_{max}\,[S]}{K_m + [S]}$$

Si $[S] = K_m$, entonces $v_0 = V_{max}/2$ (de ahí la definición). Si [S] es mucho mayor que Km, $v_0 \approx V_{max}$.



Velocidad inicial frente a concentración de sustrato (Michaelis-Menten). Las dos enzimas tienen la misma Vmax, pero la 1 alcanza la mitad de esa velocidad con menos sustrato: su Km es menor y su afinidad, mayor. Curvas ilustrativas.

5 Problema resuelto: interpretar una gráfica de Michaelis-Menten

CASTILLA-LA MANCHA · PAU 2026 EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 4, IMAGEN 2

Responda a las preguntas relacionadas con la gráfica siguiente.

[Figura: velocidad (V) frente a concentración de sustrato [S] de dos enzimas, curvas 1 y 2, que tienden a la misma Vmáx. En el eje de ordenadas se marca un valor c; desde él, líneas punteadas llegan a cada curva y bajan al eje de abscisas en los puntos a (curva 1, más a la izquierda) y b (curva 2).]

a) ¿Qué representan las letras a y b de las curvas 1 y 2? ¿Qué indica el valor c de la gráfica? Relacione ambos parámetros. (0,5 puntos)

b) ¿Cuál de las enzimas presenta una mayor eficacia catalítica? Justifique su respuesta. (0,5 puntos)

c) ¿Qué significado tiene que la velocidad de la reacción enzimática alcance un valor máximo? (0,5 puntos)

d) Nombre un factor fisicoquímico del medio que pueda modificar la actividad de una enzima. Justifique su respuesta. (0,5 puntos)

Apartado a)

1. c está en el eje de velocidades a media altura de Vmax: es **Vmax/2**.
2. a y b son las concentraciones de sustrato a las que cada curva llega a Vmax/2: por definición, la **Km** de la enzima 1 (a) y de la enzima 2 (b).
3. Relación: la Km es la [S] necesaria para alcanzar la mitad de la velocidad máxima; cuanto **menor es la Km, mayor es la afinidad** de la enzima por su sustrato.

SOLUCIÓN a = Km_1; b = Km_2; c = Vmax/2. Km es la [S] con la que v = Vmax/2 e indica (inversamente) la afinidad.

Apartado b)

1. Las dos tienen la misma Vmax, pero la enzima 1 llega a Vmax/2 con menos sustrato (a < b).
2. Su Km es menor: tiene más afinidad y trabaja de forma eficaz aunque haya poco sustrato.

SOLUCIÓN La **enzima 1**, porque su Km es menor (mayor afinidad).

Apartado c)

1. La curva es una hipérbola: al subir [S] aumentan los complejos ES.
2. Cuando todas las moléculas de enzima están unidas a sustrato (**saturación**), la velocidad ya no puede subir aunque se añada más sustrato.

SOLUCIÓN Significa que la enzima está **saturada**: todas sus moléculas forman complejos ES y la velocidad solo aumentaría con más enzima.

Apartado d)

1. Por ejemplo, la **temperatura**: al subir hasta la óptima aumenta la velocidad (más choques entre enzima y sustrato); por encima, se rompen los enlaces débiles que mantienen la estructura terciaria y la enzima se **desnaturaliza** y pierde la actividad. Al bajar mucho, la actividad disminuye sin desnaturalizarse.
2. También vale el **pH**: fuera de su pH óptimo cambian las cargas de los radicales, se altera la forma del centro activo y puede desnaturalizarse.

SOLUCIÓN Temperatura o pH, explicando su efecto sobre la estructura de la proteína.

Lo que puntúa. Criterios de Castilla-La Mancha: 0,25 por identificar a y b como Km y c como Vmax/2, y 0,25 por relacionarlos con la afinidad; en b, c y d, 0,25 la respuesta parcial y 0,5 la completa (en d, 0,25 si solo se nombra el factor y 0,5 si se justifica).

Error típico que te quita puntos. Decir que la enzima 1 «es más rápida» o tiene más Vmax: las dos tienen la misma Vmax; la diferencia está en la Km. En rigor, la «eficacia catalítica» de los libros universitarios es el cociente k_cat/Km, pero en este examen se aceptaba razonarlo con la Km.

6 Problema resuelto: Km y Vmax en una tabla (La Rioja)

LA RIOJA · PAU 2026 EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 7

Formas parte de un equipo sanitario que investiga el metabolismo del etanol en el organismo humano, con el objetivo de mejorar la comprensión de los efectos del alcohol en diferentes personas. En el hígado actúan dos enzimas, Alcohol deshidrogenasa A (ADH-A) y Alcohol deshidrogenasa B (ADH-B), que catalizan la misma reacción, pero muestran un comportamiento distinto cuando la concentración de etanol en sangre es baja.

Los estudios realizados en laboratorio han proporcionado los siguientes datos: ADH-A, Vmax 80 µmol/min y Km 2,0 mmol/L; ADH-B, Vmax 80 µmol/min y Km 0,5 mmol/L.

El equipo necesita tu análisis para interpretar estos resultados desde el punto de vista de la cinética enzimática y su repercusión en la salud.

a) Analiza los datos y explica cuál de las dos enzimas presenta mayor afinidad por el etanol, indicando cómo lo deduces. (0,3 puntos)

b) Como investigador, decide cuál de las dos enzimas sería más eficaz a concentraciones bajas de etanol en sangre y justifica tu elección. (0,3 puntos)

c) Explica por qué, cuando la concentración de etanol es muy elevada, ambas enzimas alcanzan la misma velocidad de reacción, pese a sus diferencias de afinidad. (0,4 puntos)

Apartado a)

1. La Km es la concentración de sustrato a la que la enzima trabaja a la mitad de su velocidad máxima; cuanto menor es, mayor es la afinidad.
2. Km de ADH-B (0,5 mmol/L) < Km de ADH-A (2,0 mmol/L): la B llega a Vmax/2 con cuatro veces menos etanol.

SOLUCIÓN La **ADH-B** tiene mayor afinidad por el etanol, porque su Km es menor.

Apartado b)

1. Con poco etanol (por ejemplo, 0,5 mmol/L), la ADH-B ya va a Vmax/2 = 40 µmol/min.
2. Con la ecuación de Michaelis-Menten, la ADH-A a esa concentración iría a $v = \frac{80 \cdot 0{,}5}{2{,}0 + 0{,}5} = 16$ µmol/min.

SOLUCIÓN La **ADH-B**: con su mayor afinidad, a bajas concentraciones de etanol va mucho más rápido que la A.

Apartado c)

1. A concentraciones muy altas de sustrato, ambas enzimas están **saturadas**: todas sus moléculas forman complejos ES.
2. En saturación la velocidad es la **Vmax**, que depende de la cantidad de enzima y de lo rápido que cada molécula transforma el sustrato, no de la afinidad. Las dos tienen la misma Vmax (80 µmol/min).

SOLUCIÓN Porque las dos se saturan y alcanzan su Vmax, que es la misma; la Km solo marca diferencias cuando hay poco sustrato.

Lo que puntúa. La Rioja exige justificar siempre («No será suficiente para obtener la valoración máxima una respuesta sin justificar»): di de qué dato lo deduces (la Km) y qué significa.

Error típico que te quita puntos. Elegir la ADH-A por tener «la Km más alta» (al revés) o pensar que más afinidad implica más Vmax.

7 Factores que influyen: temperatura, pH y concentración de sustrato

- **Temperatura**: al subir, la actividad **aumenta** (más energía cinética, más choques enzima-sustrato) hasta la **temperatura óptima**. Por encima, la enzima se **desnaturaliza** (se rompen los enlaces débiles de su estructura terciaria y cuaternaria) y la actividad **cae bruscamente**. A temperaturas bajas la actividad baja, pero la enzima **no se desnaturaliza** y la recupera al calentarse.
- La temperatura óptima depende del organismo: unos **37 °C** en enzimas humanas y 70 °C o más en algunas bacterias y arqueas **termófilas** e hipertermófilas, como la *Taq* polimerasa de *Thermus aquaticus*, que en la PCR trabaja a unos 72 °C (Tema 20).
- **pH**: cada enzima tiene un **pH óptimo**. Fuera de él cambia la **ionización de los radicales** (del centro activo y del resto), se alteran los enlaces iónicos y puentes de hidrógeno, la forma del centro activo y la unión del sustrato; a pH extremos se desnaturaliza. Ejemplos: **pepsina** del estómago (pH óptimo hacia 2) y **tripsina** del intestino delgado (hacia 8).
- **Concentración de sustrato**: ya la has visto (hipérbola hasta la saturación). **Cantidad de enzima**: con sustrato abundante, más enzima = más velocidad.
- **Cofactores e inhibidores**: sin su cofactor la enzima no funciona; los inhibidores la frenan (sección siguiente).
- Ejemplos de examen: la **fiebre** muy alta reduce la actividad de enzimas digestivas (Andalucía, reserva 2026); el **yogur** fermentado a 70–75 °C no se hace porque las enzimas de las bacterias se desnaturalizan (Madrid, 2025); la **catalasa** de la patata deja de producir burbujas de O_2 si se hierve o se pone en vinagre o en sosa (Castilla y León, 2026).

PREGUNTA RESUELTA

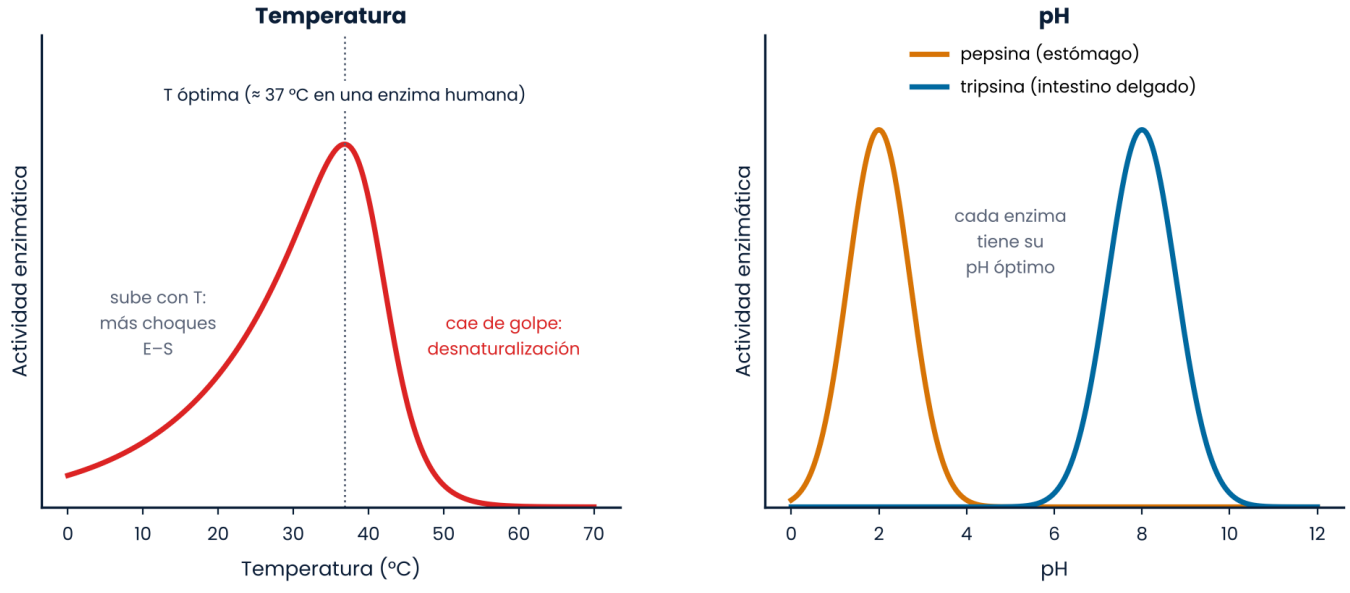
Castilla y León · PAU 2026 extraordinaria · Pregunta 1 (competencial): «En el laboratorio se ha realizado un experimento con 10 g de patata y 2 ml de agua oxigenada para analizar la actividad de la catalasa, una enzima presente en los peroxisomas, en las condiciones indicadas en la tabla. Cuando la enzima cataliza la reacción, libera oxígeno, que se observa a modo de burbujas (efervescencia). [Tabla: tubo 1, 2 ml de agua, incubar 5 minutos, temperatura ambiente y pH neutro: fuerte efervescencia; tubo 2, 2 ml de agua, hervir 5 minutos, temperatura extrema y pH neutro: efervescencia nula; tubo 3, 2 ml de vinagre, incubar 5 minutos, temperatura ambiente y pH ácido: nula; tubo 4, 2 ml de NaOH, incubar 5 minutos, temperatura ambiente y pH básico: nula.] a) ¿Cómo afectan las distintas condiciones experimentales a la actividad del enzima? Razone su respuesta. (1,0) b) ¿Cómo afectarían las condiciones del tubo 2 a la estructura tridimensional de la catalasa? ¿Qué enlaces se verán afectados? (1,0)»

Respuesta modelo

a) La catalasa descompone el agua oxigenada: $2\,H_2O_2 \rightarrow 2\,H_2O + O_2$; las burbujas son el O_2. En el **tubo 1** (temperatura ambiente y pH neutro) la enzima está en condiciones adecuadas y es activa: hay mucha efervescencia, y sirve de **control**. En el **tubo 2** el calor la **desnaturaliza** y pierde la función. En los **tubos 3 y 4**, el pH ácido y el básico, alejados de su pH óptimo, alteran la ionización de sus radicales y también la desnaturalizan: no hay burbujas.

b) Al hervir se rompen los enlaces débiles que mantienen la conformación: se pierden las estructuras **secundaria** (puentes de hidrógeno entre los C=O y N–H del esqueleto), **terciaria y cuaternaria** (la catalasa tiene cuatro subunidades), mantenidas por **puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas, enlaces iónicos y fuerzas de Van der Waals**. Se conserva la estructura primaria (enlaces peptídicos). Sin su forma, el centro activo deja de existir.

Por qué puntúa. Por qué puntúa: los criterios de Castilla y León piden decir que el tubo 1 tiene las condiciones adecuadas, que el calor y los cambios de pH desnaturalizan la enzima y nombrar los enlaces de cada nivel. Usar «tubo control» y la reacción suma precisión. El criterio incluye los puentes disulfuro en la lista de enlaces de las estructuras terciaria y cuaternaria: nómbralos como enlaces que la estabilizan, aunque el calor por sí solo no suele romperlos (Tema 5).



Actividad enzimática frente a la temperatura y el pH. Con la temperatura sube hasta el óptimo y luego cae de golpe por desnaturalización. Con el pH cada enzima tiene su óptimo: el de la pepsina es muy ácido y el de la tripsina, ligeramente básico. Curvas ilustrativas.

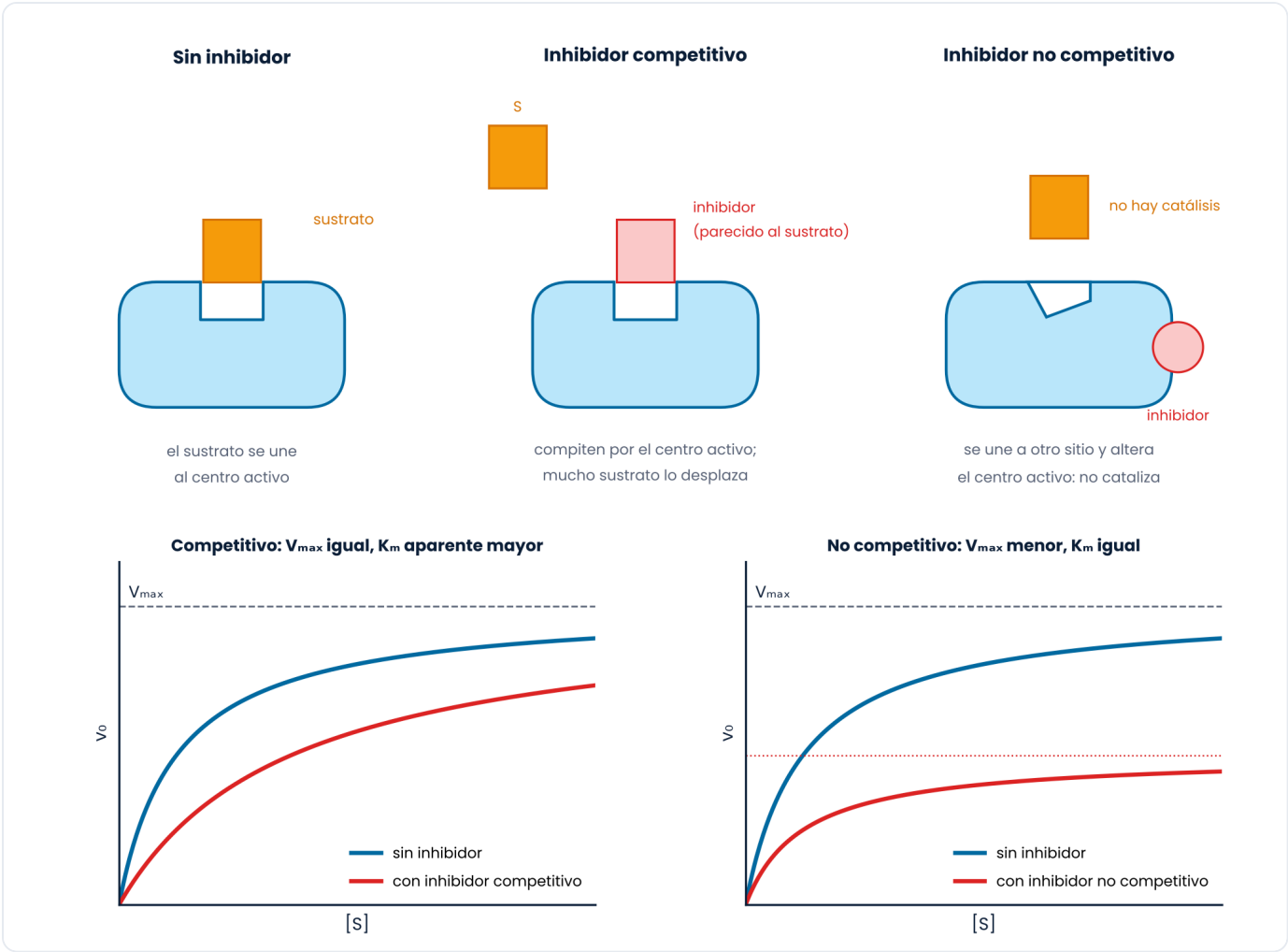
8 Inhibición enzimática

Qué piden dónde. Reversible frente a irreversible: casi todas. **Competitiva y no competitiva**: Andalucía, Galicia, Castilla-La Mancha, La Rioja (2025) y Madrid (salió en 2025; sus orientaciones de 2026–27 ya no la excluyen). La Comunitat Valenciana pide definir la reversible y la irreversible. **Acompetitiva**: solo **Castilla-La Mancha**. **Murcia**: inhibidores reversibles e irreversibles, «no necesario distinguir inhibición competitiva, no competitiva y acompetitiva».

- **Inhibidor**: sustancia que se une a una enzima y **disminuye o anula su actividad**. Muchos fármacos, venenos e insecticidas son inhibidores.
- **Inhibición irreversible**: el inhibidor se une a la enzima de forma permanente (a menudo **covalente**) y la **inutiliza** para siempre. Ejemplos: los **gases nerviosos** e insecticidas organofosforados sobre la acetilcolinesterasa; la **penicilina**, que bloquea una enzima que construye la pared bacteriana; la **aspirina**, que acetila la ciclooxigenasa.
- **Inhibición reversible**: el inhibidor se une por **enlaces débiles** y se separa; si se retira, la enzima recupera la actividad (Galicia, 2025: «si se elimina del medio la sustancia A, la actividad enzimática se restablece»).
- **Competitiva**: el inhibidor se **parece al sustrato** y **compite por el centro activo**. Si hay **mucho sustrato**, este desplaza al inhibidor: **la Vmax no cambia**, pero hace falta más sustrato para llegar a Vmax/2 (la **Km aparente aumenta**). Ejemplo de examen: «la molécula X impide la reacción, pero si se añaden grandes cantidades de sustrato vuelve a producirse» (Madrid, 2025) es un inhibidor competitivo.
- **No competitiva**: el inhibidor se une a **otro sitio** distinto del centro activo (a la enzima libre o al complejo ES) y cambia su forma: la enzima trabaja peor aunque haya mucho sustrato. **Baja la Vmax** y la **Km no cambia** (en la no competitiva pura).
- **Acompetitiva** (solo Castilla-La Mancha): el inhibidor se une **solo al complejo ES**, no a la enzima libre; **bajan la Vmax y la Km**.

Tipo	Dónde se une	¿Lo revierte mucho sustrato?	Vmax	Km aparente
Competitiva	Centro activo (enzima libre)	Sí	Igual	Aumenta
No competitiva (pura)	Otro sitio (enzima libre o ES)	No	Disminuye	Igual
Acompetitiva	Solo al complejo ES	No	Disminuye	Disminuye
Irreversible	Suele unirse covalentemente (a menudo al centro activo)	No	Disminuye (hay menos enzima útil)	—

Según Nelson y Cox (Lehninger), cap. 6. La inhibición «mixta» de los libros universitarios no se pide en la PAU.



Inhibición competitiva y no competitiva. El inhibidor competitivo ocupa el centro activo y lo desplaza mucho sustrato: la Vmax no cambia y la Km aparente sube. El no competitivo se une a otro sitio y altera el centro activo, que deja de catalizar aunque el sustrato pueda unirse: la Vmax baja y la Km se mantiene (línea roja punteada: nueva Vmax). Curvas ilustrativas.

9 Regulación de la actividad enzimática

Galicia y Andalucía piden las enzimas **alostéricas**; Castilla-La Mancha, la regulación en general. En **Madrid** «no es necesario que conozca la regulación alostérica».

- La célula ajusta su metabolismo controlando **cuánta enzima hay** (regulando la expresión de sus genes, Tema 16) y **lo activa que está**.
- **Enzimas alostéricas**: suelen tener **varias subunidades** y, además del centro activo, **sitios reguladores** donde se unen **efectores**: **activadores** (aumentan la actividad) o **inhibidores alostéricos** (la reducen) al cambiar la forma de la enzima. Su curva de velocidad frente a [S] no es una hipérbola, sino **sigmoidea** (en forma de S), por **cooperatividad** entre subunidades.
- **Retroinhibición o inhibición por el producto final** (*feedback*): el producto final de una ruta inhibe la **primera enzima** de esa ruta, normalmente alostérica. Así la célula deja de fabricar lo que ya le sobra. Ejemplo clásico: en *Escherichia coli*, el CTP inhibe la aspartato transcarbamilasa, la enzima que cataliza el primer paso de la síntesis de nucleótidos de pirimidina.
- **Modificación covalente**: unión o eliminación de un grupo químico, sobre todo **fosforilación** por quinasas, que activa o desactiva la enzima (así se regula, junto con efectores alostéricos, la glucógeno fosforilasa).
- **Zimógenos o proenzimas**: algunas enzimas se fabrican **inactivas** y se activan al cortarse un fragmento: el **pepsinógeno** pasa a **pepsina** en el estómago y el **tripsinógeno** a **tripsina** en el intestino. Así no digieren la célula que las fabrica.

- **Isoenzimas**: formas distintas de una enzima que catalizan la misma reacción con distinta Km o regulación, según el tejido (Navarra preguntó isoformas en 2025; las dos alcohol deshidrogenasas de La Rioja son un ejemplo).

10 Nomenclatura y clasificación

Castilla-La Mancha dice expresamente que **no entra** la clasificación de enzimas. En las demás basta con reconocer el sufijo y las clases.

- Se nombran con el **sustrato** o la **reacción** y el sufijo **-asa**: amilasa (almidón), lipasa (lípidos), ADN polimerasa, lactato deshidrogenasa. Algunos nombres antiguos no lo llevan: pepsina, tripsina.
- La Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular (IUBMB) asigna a cada enzima un número EC y las agrupa en **siete clases** (la séptima, translocasas, se añadió en 2018):

Clase	Qué reacción catalizan	Ejemplo
1. Oxidorreductasas	Oxidación-reducción (transferencia de electrones o H)	Lactato deshidrogenasa, catalasa
2. Transferasas	Transferencia de grupos funcionales	Quinasas (grupos fosfato), transaminasas
3. Hidrolasas	Rotura de enlaces con agua (hidrólisis)	Amilasa, lipasa, pepsina, lactasa
4. Liasas	Rotura de enlaces sin agua ni oxidación, o adición a dobles enlaces	Descarboxilasas, aldolasa
5. Isomerasas	Reordenación de una molécula en un isómero	Fosfoglucosa isomerasa
6. Ligasas	Unión de dos moléculas gastando ATP	ADN ligasa
7. Translocasas	Transporte de iones o moléculas a través de membranas	Algunas ATPasas de membrana

Clasificación de la Comisión de Enzimas de la IUBMB (ExplorEnz).

Conceptos clave

Enzima
Biocatalizador, casi siempre de naturaleza proteica, que acelera de forma específica una reacción química al disminuir su energía de activación, sin consumirse ni alterar el equilibrio.

Energía de activación
Energía que deben alcanzar los reactivos para llegar al estado de transición y transformarse en productos. Las enzimas la disminuyen.

Centro activo
Región de la enzima, formada por unos pocos aminoácidos, donde se une el sustrato mediante enlaces débiles y se produce la catálisis.

Complejo enzima-sustrato
Asociación transitoria de la enzima con su sustrato en el centro activo, paso previo a la formación de los productos.

Especificidad enzimática
Capacidad de una enzima para actuar solo sobre un sustrato o grupo de sustratos y catalizar un tipo concreto de reacción, por la complementariedad del centro activo.

Ajuste inducido
Modelo de unión según el cual el centro activo es flexible y cambia de forma al unirse el sustrato, adaptándose a él (Koshland, 1958).

Apoenzima
Parte proteica de una enzima que necesita un cofactor; por sí sola es inactiva.

Holoenzima
Enzima completa y activa, formada por la apoenzima y su cofactor.

Cofactor

Componente no proteico necesario para la actividad de una enzima; puede ser un ion inorgánico o una molécula orgánica (coenzima). En algunos criterios se reserva el término para los iones inorgánicos.

Coenzima

Molécula orgánica no proteica que se une de forma transitoria a una enzima y es imprescindible para su actividad, transportando electrones, átomos o grupos químicos. Muchas derivan de vitaminas (NAD^+, FAD, coenzima A).

Velocidad máxima (Vmax)

Velocidad de una reacción enzimática cuando todas las moléculas de enzima están saturadas de sustrato formando complejos ES.

Constante de Michaelis (Km)

Concentración de sustrato a la que la reacción alcanza la mitad de su velocidad máxima. Cuanto menor es, mayor es la afinidad de la enzima por el sustrato.

Temperatura óptima

Temperatura a la que una enzima tiene su máxima actividad; por encima se desnaturaliza.

Inhibidor enzimático

Sustancia que se une a una enzima y disminuye o anula su actividad, de forma reversible o irreversible.

Inhibición competitiva

Inhibición reversible en la que el inhibidor, parecido al sustrato, compite con él por el centro activo; se revierte aumentando la concentración de sustrato (Vmax igual, Km aparente mayor).

Inhibición no competitiva

Inhibición reversible en la que el inhibidor se une a un lugar distinto del centro activo y reduce la actividad aunque haya mucho sustrato (Vmax menor, Km igual).

Enzima alostérica

Enzima, generalmente de varias subunidades, cuya actividad cambia al unirse efectores (activadores o inhibidores) a sitios reguladores distintos del centro activo; su cinética es sigmoidea.

Retroinhibición

Regulación en la que el producto final de una ruta metabólica inhibe la actividad de la primera enzima de la ruta.

Zimógeno

Forma inactiva de una enzima que se activa al cortarse parte de su cadena, como el pepsinógeno que se transforma en pepsina.

MODO PAU

Seis claves que valen puntos

Cómo actúa

Baja la energía de activación; no cambia la ΔG ni el equilibrio; **no se consume**.

Centro activo

Región donde se une el sustrato (**complejo ES**) y ocurre la catálisis: de ahí la **especificidad**.

Holoenzima

Apoenzima (proteína) + **cofactor** (ion o **coenzima** orgánica). Coenzimas del grupo B: **B_2 → FAD**, **B_3 → NAD^+**, **B_5 → CoA**.

Km y afinidad

Km = [S] con la que v = **Vmax/2**. **Km pequeña = más afinidad.** En saturación, todas llegan a su Vmax.

Temperatura y pH

Suben hasta el **óptimo**; por encima de la T óptima o fuera del pH óptimo, **desnaturalización**. El frío solo frena.

Inhibición

Competitiva: centro activo, la revierte mucho sustrato (Vmax igual). **No competitiva**: otro sitio (Vmax menor). **Irreversible**: la inutiliza.

Cómo te lo pueden preguntar

- **Madrid (2025 coincidente):** «En una reacción enzimática: "Sustrato → Producto", la presencia de una molécula "X" hace que la reacción no se produzca. Sin embargo, si se añaden al medio grandes cantidades de sustrato, la reacción vuelve a producirse. Razone brevemente qué es la molécula "X" y cómo actúa (0,75 puntos).»
- **Madrid (2026 extraordinaria):** «Indique una similitud y una diferencia entre cofactor enzimático y coenzima, y cite un ejemplo de cada uno de ellos (0,8 puntos).»
- **Cantabria (modelo 2025):** «Escriba un texto de no más de 10 líneas en el que se relacionen de manera coherente, dentro de un fenómeno biológico, los siguientes conceptos: enzima, centro activo, velocidad máxima, desnaturalización.»
- **Galicia (2025 extraordinaria):** «El enzima de la figura actúa sobre el sustrato, un disacárido, rompiendo el enlace O-glucosídico. Si se añade al medio la substancia A, la actividad del enzima varía, según se indica en la gráfica. Si se elimina del medio la substancia A, la actividad enzimática se restablece. A) Indique cómo se denominan estos procesos y explique cómo se producen.»
- **Aragón (2026 ordinaria):** «Observando el gráfico, explique la relación entre el pH y la energía de activación de la reacción catalizada por cada enzima. ¿Cómo afecta la variación de la energía de activación a la velocidad de formación del producto? (0,6 puntos).»
- **Navarra (2026 extraordinaria):** «Indica los valores óptimos de pH y temperatura para cada una de las enzimas y explica por qué son diferentes. (0,5 P)» [Figura: actividad de enzimas de bacterias de distintos ambientes frente a la temperatura y el pH.]
- **Comunitat Valenciana (2025 ordinaria):** «¿Qué zona de una enzima sería interesante analizar para poder diseñar una molécula que alterase su actividad? ¿Por qué? Indique un efecto que podría tener dicho fármaco sobre la reacción enzimática (0,75 puntos).»
- **País Vasco (2025 ordinaria):** «De acuerdo con la figura, ¿Cuál de los dos enzimas (E1 o E2) presenta mayor afinidad por el sustrato? Razona tu respuesta (0,75 p)» [Figura: velocidad inicial frente a [S] de dos enzimas.]
- **Madrid (2025 ordinaria):** «Razone cuál de las dos enzimas pertenece a un organismo termófilo (0,5 puntos).» [Figura: velocidad de reacción frente a la temperatura de dos enzimas, B con su óptimo hacia 38–40 °C y A hacia 60 °C, que sigue activa hasta unos 80 °C.]

No lo confundas

- **Km pequeña = afinidad grande** (no al revés): hace falta poco sustrato para llegar a Vmax/2.

- La **Vmax** depende de la cantidad de enzima; la **Km**, no: es una propiedad de cada enzima con cada sustrato.
- El **calor desnaturaliza**; el **frío solo frena** la actividad, que se recupera al calentar.
- Inhibidor **competitivo**: Vmax igual (con mucho sustrato se recupera). **No competitivo**: Vmax menor (el sustrato no lo desplaza).
- **Coenzima ≠ cofactor inorgánico**: la coenzima es orgánica (NAD^+, FAD, CoA) y sale modificada; el ion metálico es inorgánico (Mg^{2+}, Zn^{2+}).
- La enzima **no cambia la ΔG** ni hace espontánea una reacción que no lo es: solo la acelera.
- **Holoenzima** (enzima completa con su cofactor) ≠ **holoproteína** (proteína formada solo por aminoácidos).

Ponte a prueba

Comunitat Valenciana · PAU 2026 ordinaria · Pregunta 2.1 c: «Tres enzimas presentan los siguientes valores de KM: 25 mM, 0,4 mM y 0,05 mM. ¿Cuál tiene mayor afinidad por su sustrato? Justifique su respuesta (0,5 puntos).»

Solución: La de **Km = 0,05 mM**. La Km es la concentración de sustrato con la que la enzima alcanza la mitad de su velocidad máxima: cuanto **menor** es, menos sustrato necesita la enzima para estar medio saturada, es decir, **mayor es su afinidad** por el sustrato. La de 25 mM es la de menor afinidad.

Madrid · PAU 2025 coincidente · Pregunta 4.B c: «En una reacción enzimática: "Sustrato → Producto", la presencia de una molécula "X" hace que la reacción no se produzca. Sin embargo, si se añaden al medio grandes cantidades de sustrato, la reacción vuelve a producirse. Razone brevemente qué es la molécula "X" y cómo actúa (0,75 puntos).»

Solución: X es un **inhibidor competitivo** (reversible). Tiene una forma parecida al sustrato y **se une al centro activo**, compitiendo con él: mientras X lo ocupa, el sustrato no puede unirse y no hay reacción. Si se añade mucho sustrato, este gana la competencia, ocupa la mayoría de los centros activos y la reacción vuelve a producirse (la Vmax no cambia; la Km aparente aumenta).

Murcia · PAU 2026 ordinaria · Pregunta 2 C: «En esta familia, el desorden está ocasionado por una mutación en el gen que codifica la enzima fenilalanina hidroxilasa, necesaria para degradar la fenilalanina, que hace que la enzima no pueda realizar su función. Indique, razonando la respuesta, una zona o región de la enzima a la que podría estar afectando la mutación para provocar la falta de actividad de la enzima (0,5 p.).»

Solución: Al **centro activo**. Si la mutación cambia uno de los aminoácidos de unión o catalíticos del centro activo, cambian su forma o sus cargas: la fenilalanina ya no encaja (no se forma el complejo enzima-sustrato) o no se transforma, y la enzima pierde la actividad. También valdría un cambio que altere el **plegamiento** (estructura terciaria) y deforme el centro activo aunque esté lejos de él.

Andalucía · PAU 2026 reserva 2 · Ejercicio 1 b y c: «b) El equipo también observa que ciertos compuestos presentes en la dieta reducen o incluso impiden que la enzima degrade su sustrato. Justifique por qué puede estar ocurriendo esto [0,5]. c) En la población general, la actividad de esta enzima se altera si no se consumen alimentos vegetales ricos en vitaminas. Justifique a qué puede deberse este hecho [0,5].»

Solución: b) Esos compuestos actúan como **inhibidores**: se unen a la enzima (al centro activo, compitiendo con el sustrato, o a otro sitio, cambiando su forma) y reducen o bloquean su actividad. c) Muchas **vitaminas** son **precursoras de coenzimas**, moléculas imprescindibles para que algunas enzimas catalicen sus reacciones. Si esta enzima necesita una coenzima derivada de una vitamina, la falta de esa vitamina en la dieta impide formar la holoenzima activa y su actividad baja.

Tipo examen (Baleares pide la ecuación): una enzima tiene una Vmax de 60 µmol/min y una Km de 3 mM. ¿Qué velocidad alcanzará con una concentración de sustrato de 3 mM? ¿Y con 27 mM?

Solución: Con [S] = Km = 3 mM, por definición $v_0 = V_{max}/2 = 30$ µmol/min. Con 27 mM: $v_0 = \frac{60 \cdot 27}{3+27} = \frac{1\,620}{30} = 54$ µmol/min, el 90 % de la Vmax: la enzima está casi saturada.

Fuentes

1. Nelson y Cox, *Lehninger. Principios de bioquímica*, 8.ª ed. (Omega, 2022), cap. 6 «Enzimas»
2. Alberts et al., *Molecular Biology of the Cell*, 4.ª ed., cap. 3 «Proteins» (apartado «Protein Function»), NCBI Bookshelf
3. Koshland, «Application of a theory of enzyme specificity to protein synthesis», *PNAS* 44: 98–104 (1958)
4. IUBMB, Nomenclature Committee: Enzyme Nomenclature y base de datos ExplorEnz (siete clases EC)
5. Premio Nobel de Química 1989 (Altman y Cech, propiedades catalíticas del ARN), nobelprize.org
6. Universidades públicas de Madrid, Orientaciones de Biología 2026–2027 (D.2: sin Michaelis-Menten ni regulación alostérica) y exámenes 2025–2026
7. Universidad de Castilla-La Mancha, «Información PAU 2026 · Biología» y coordinación de materias
8. Universidad de La Rioja, exámenes y criterios de la PAU
9. Junta de Castilla y León, guías de calificación de la PAU 2026 (Biología)
10. Distrito Único Andaluz, directrices y orientaciones de Biología 2026–2027 y exámenes anteriores
11. Conselleria de Educación (Comunitat Valenciana), exámenes y criterios de corrección de la PAU 2026

Imágenes: Gráfica propia: Farmeando PAU, gráfica de elaboración propia (curvas ilustrativas) a partir de Nelson y Cox, Lehninger. Principios de bioquímica (8.ª ed.), cap. 6. · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Nelson y Cox, Lehninger (8.ª ed.), cap. 6. · Gráfica propia: Farmeando PAU, gráfica de elaboración propia (curvas ilustrativas) a partir de Nelson y Cox, Lehninger. Principios de bioquímica (8.ª ed.), cap. 6. · Gráfica propia: Farmeando PAU, gráfica de elaboración propia (curvas ilustrativas) a partir de Nelson y Cox, Lehninger. Principios de bioquímica (8.ª ed.), cap. 6. · Esquema propio: Farmeando PAU, gráfica de elaboración propia (curvas ilustrativas) a partir de Nelson y Cox, Lehninger. Principios de bioquímica (8.ª ed.), cap. 6.

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 24 de octubre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.