

Tema 6 : Enzims

1. Introducció: Conceptes d'energia d'activació i biocatalitzador
2. Tipus de biocatalitzadors
3. Enzims
 - 3.1. Propietats
 - 3.2. Estructura
 - 3.2.1. apoenzim
 - 3.2.2. Coenzim
 - 3.3. Mecanisme d'acció enzimàtica
 - 3.4. Factors que influeixen en l'acció enzimàtica.
 - 3.4.1. Temperatura
 - 3.4.2. pH
 - 3.4.3. Concentració substrat.
 - 3.4.4. Inhibidors de l'acció enzimàtica.
 - 3.5. Regulació enzimàtica. Enzims al·lostèrics.
 - 3.6. Classificació dels enzims.

1. Introducció: Conceptes d'energia d'activació i biocatalitzador

Als éssers vius tenen lloc contínuament nombroses reaccions químiques d'una forma ràpida i ordenada. Els **enzims**, **vitamines** i les **hormones**, juntament amb alguns oligoelements actuen com a (bio)**catalitzadors** d'aquestes reaccions cèl·lulars, tot augmentant-hi considerablement la velocitat de reacció i permetent que aquestes es desenvolupen sota unes condicions ambientals suaus, compatibles amb els processos vitals.

En tota reacció química, hi ha un canvi de substàncies inicials (**reactius**) a substàncies finals (**productes**):



Aquesta transformació no es fa directament sinó que exigeix un pas intermedi, l'**estadi de transició** on els reactius s'activen, s'afebleixen els seus enllaços i és més probable que es trenquen o es formen els enllaços que originaran el producte. L'energia que necessita adquirir la molècula de reactiu per arribar a l'estat de transició és l'**energia d'activació** (E_a -Quantitat d'energia necessària per a dur totes les molècules d'un mol d'una substància a l'estat de transició) . aquesta energia d'activació suposa una barrera energètica que han de superar totes les molècules del reactiu perquè hi haja

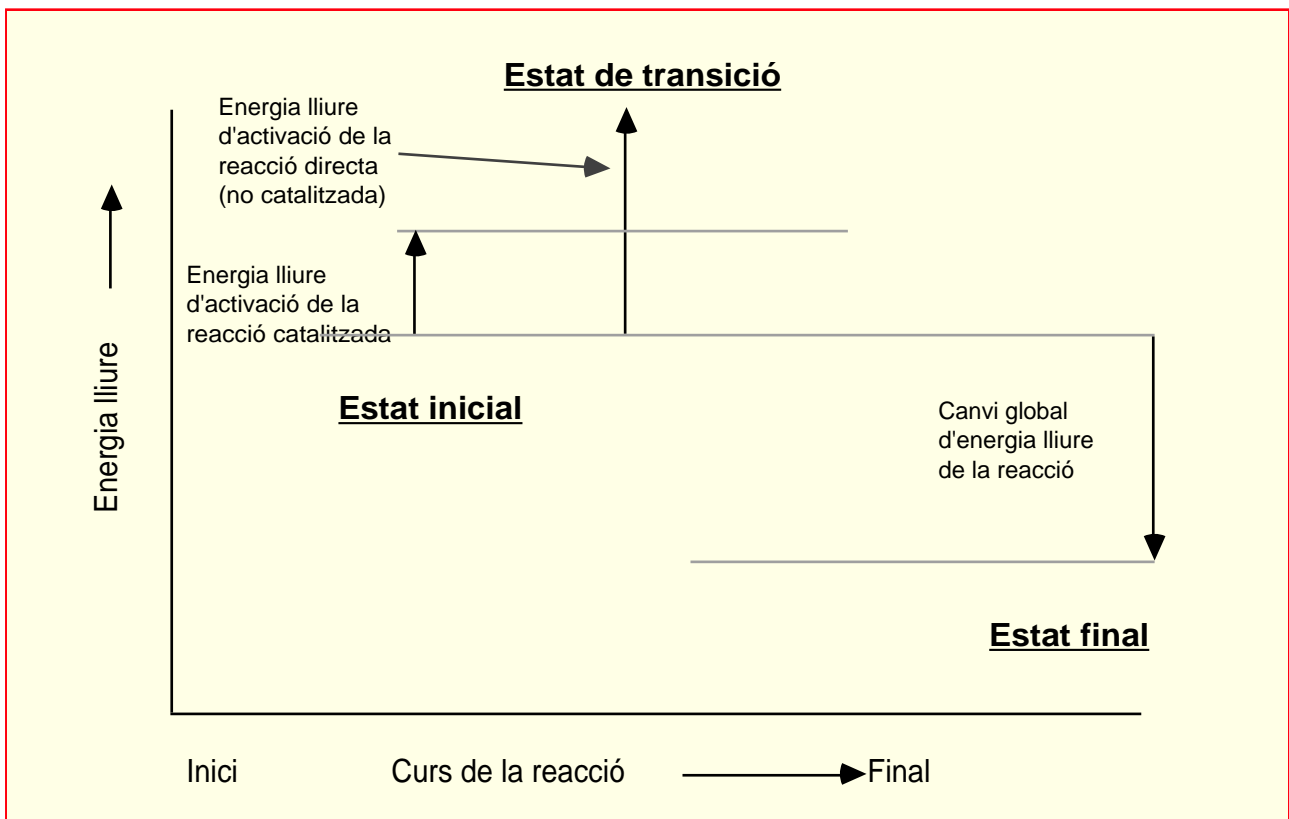
reacció i es produeix la seua transformació en productes. Com més elevada siga l'energia d'activació més gran serà la barrera que han de franquejar les molècules dels reactius, i serà més difícil arribar a l'estat de transició, per la qual cosa la velocitat de reacció serà més lenta.

Si considerem la reacció d'oxidació de la glucosa :



veiem que, tot i ésser una reacció força exotèrmica, aquesta no es produeix de forma espontània. Això és degut a que necessita una energia d'activació considerabl, ja que els electrons potencialment transferibles es comporten com l'aigua d'una presa; es necessita una petita quantitat d'energia per ultrapassar la barrera i alliberar l'energia potencial acumulada. La combustió del paper n'és un exemple clar: tot i ser una reacció que desprén energia en forma de llum i calor, necessita una energia d'activació: el foc amb què l'encenem.

Si escalfem els reactius, les molècules absorbeixen calor, factor que incrementa la seua energia interna i, per tant, la possibilitat que entren en contacte i reaccionen. Aquest procediment és, per, incompatible amb les condicions fisiològiques, ja que l'augment de temperatura provocaria la desnaturalització de les proteïnes cel·lulars. Altrament, els **enzims** i en general tots els **biocatalitzadors** acceleren les reaccions químiques tot disminuint l'energia d'activació de la reacció.



*Les reaccions químiques es poden descriure com a superfícies energètiques, en les quals les molècules dels reactius i els productes es troben al fons de pous molt profunds. Per a que una molècula de reactiu es transforme en un producte, els seus àtoms s'han de traslladar d'un pou a un altre: en primer lloc necessiten guanyar energia per abandonar el seu pou, energia que després han de cedir quan tornen a caure en un altre pou estable (el del producte). El punt més alt d'aquesta trajectòria no és sinó un punt efímer del viatge des del pou de reactiu al pou del producte i correspon a l'estat **de transició**; l'energia que necessita adquirir la molècula de reactiu per arribar a l'estat de transició és l'**energia d'activació**.*

2. Tipus de biocatalitzadors

En tenim quatre grups:

- * **Oligoelements:** F , Cu , Zn, etc. S'obtenen a partir dels aliments i participen també en la catàlisi de les reaccions inorgàniques. No presenten l'especificitat dels enzims.
- * **Vitamines:** Són molècules de natura proteica o lipídica, sintetitzades pels éssers autòtrofs o els microorganismes. Els animals hem d'ingirir-les a través de la dieta. Moltes vitamines actuen de coenzims. El concepte de vitamina és similar al d'aminoàcid essencial; és a dir, una substància indispensable per a l'organisme, ja que en el transcurs de l'evolució aquest va perdre la capacitat de sintetitzar per si mateix aquests compostos, potser perquè són molt abundants a la natura i els aliments habituals en porten la quantitat suficient.
- * **Hormones:** Molècules proteiques o lipídiques sintetitzades pel propi organisme en unes zones determinades (glàndules endocrines), vessades al torrent sanguini i que actuen per tot l'organisme amb una missió reguladora
- * **Enzims:** Molècules estrictament proteiques. Se sintetitzen al propi organisme i poden actuar a nivell cel·lular o extracel·lular. A diferència de les hormones actuen al mateix lloc on se segreguen.

3. Els enzims

Definició d'enzim

Els enzims són molècules proteiques globular, solubles en aigua , especialitzades en la catàlisi i regulació de les reaccions biològiques

3.1. Propietats dels enzims

- * **Especificitat.** És la característica més destacada dels enzims. Aquesta propietat és deguda a un acoblament perfecte entre les molècules de l'enzim i el substrat sobre el qual actua. Aquesta especificitat és doble:
 1. **Especificitat de substrat.** El substrat (**S**) és la molècula sobre la qual actua.
 2. **Especificitat d'acció.** Cada reacció està catalitzada per un enzim específic.
- * **Gran poder catalític.** Els enzims intervenen en les reaccions químiques en concentracions molt baixes, tot i que provoquen grans transformacions; així, per exemple, una molècula d'enzim catalasa dissocia fins a un milió de molècules de H_2O_2 per segon. Presenten una major efectivitat que els catalitzadors inorgànics.
- * **No modifiquen l'equilibri de la reacció i es recuperen intactes** quan aquesta finalitza. No afecten el resultat de la reacció; únicament l'acceleren. Com a curiositat, catalitzador en xinès es diu "*Tsoo mei* = Agent matrimonial".

3.2. Estructura dels enzims

L'activitat d'alguns enzims depèn únicament de la seua estructura proteica ja que presenten un **centre d'activitat catalítica** a la seua estructura proteica; d'altres, anomenats **apoenzims**, necessiten per al seu funcionament altres components no proteics anomenats **cofactors**. Aquest cofactor pot ser:

Ió metàl·lic : Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+}
Cofactor Molècula orgànica : **coenzim**
 Ambdues coses

El conjunt apoenzim-cofactor catalíticament actiu rep el nom de **holoenzim**. Els enzims que contenen ions metàl·lics també se solen anomenar metal·loenzims



Exemples:

proteïna simple: Ribonucleasa (hidrolitza polinucleòtids)

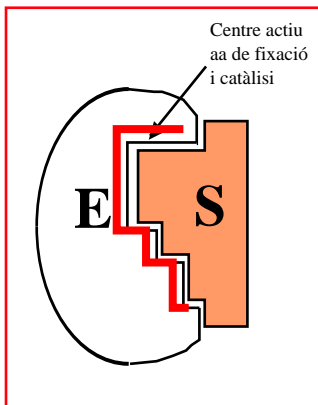
proteïna + ió metàl·lic: Catalasa (amb Fe) que descompon $2 H_2O_2$ en H_2O i O_2

proteïna + coenzim: NA -Malatodeshidrogenasa (àc. màlic \rightleftharpoons àc. oxalacètic)

proteïna + coenzim + ió: Citocrom (grup hemo + Fe)

3.2.1. Estructura de l'apoenzim

Són proteïnes globulars om podem distingir tres tipus d'aminoàcids:



* **Estructurals**: formen l'estructura tridimensional de l'enzim; sense funció dinàmica.

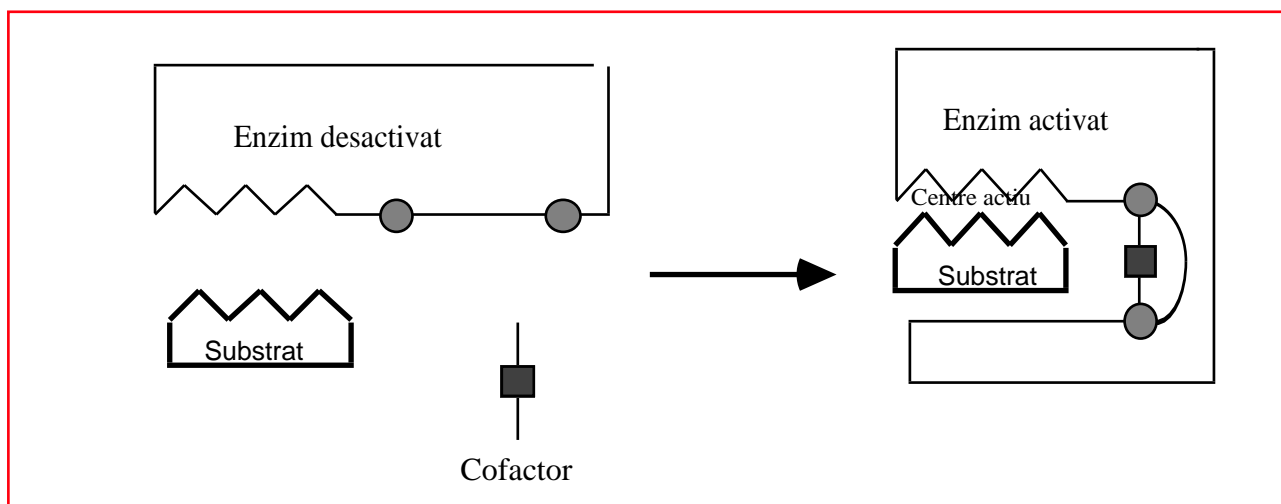
* **de fixació**: Encarregats d'establir enllaços febles amb el substrat (molècula amb què reacciona específicament el enzim). Es troben situats al **centre catalític o centre actiu** -cavitat de la superfície de l'enzim originada per la particular disposició dels aminoàcids que molt sovint pertanyen a zones allunyades de la cadena polipeptídica.

* **Catalitzadors**: S'uneixen al substrat mitjançant enllaços covalents, tot afeblint la seua estructura molecular i afavorint el seu trencament. Localitzats al centre actiu.

Així doncs, l'activitat d'un enzim depèn dels residus que resten exposats a la seua superfície i que són capaços de formar enllaços febles, no covalents, amb les altres molècules. Per a que la interacció entre enzim i substrat siga eficaç cal la formació simultània de diversos enllaços febles, cosa que es pot assolir únicament si la molècula que s'uneix a l'enzim s'adapta exactament a la superfície d'aquest.

3.2.2. Estructura i propietats dels coenzims

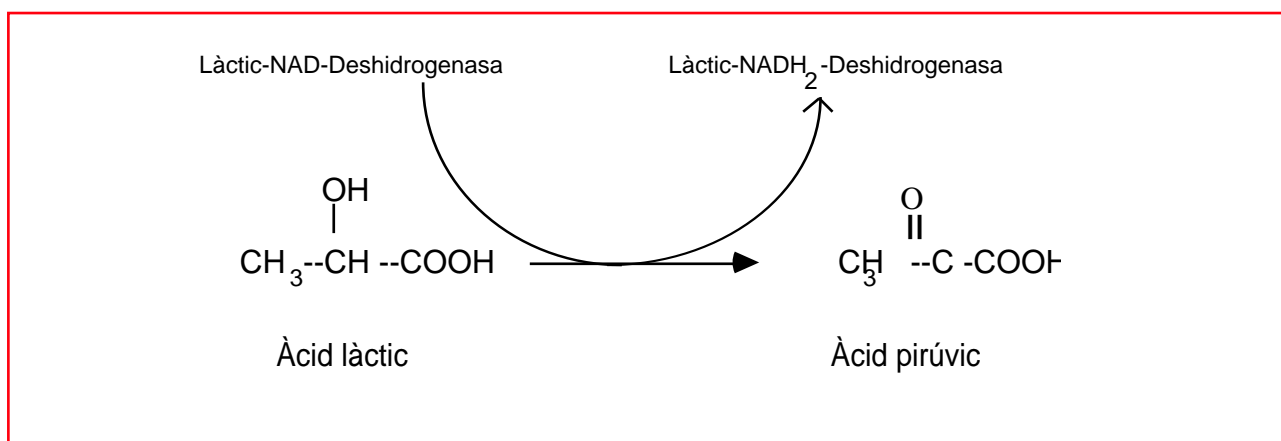
Quan la reactivitat de les cadenes laterals dels aminoàcids és insuficient per a dur a terme l'activitat enzimàtica, els enzims fan servir sovint l'ajuda de determinades molècules no proteiques que es fixen a la



superfície proteica i actuen com a coenzims

Propietats dels coenzims

- * No són específics d'un tipus d'apoenzim: un coenzim pot fixar-se a diferents apoenzims. Ex: NAD + hidrogenases.
- * Poden alterar-se al llarg de la reacció enzimàtica, tot i que després es



regeneren posteriorment i tornen a ésser funcionals

Exemples: les vitamines hidrosolubles desenvolupen en general la funció de coenzims:

La **vitamina B₂** o riboflavina és un dels components del coenzim **FAD** (flavín-adenín-dinucleòtid) que participa en les reaccions d'oxidoreducció que tenen lloc a la respiració cel·lular.

La **vitamina B₃** o àcid pantotènic és un dels components del **coenzim A** que actua en el metabolisme energètic (β -oxidació dels àcids grassos).

La **vitamina B₅** o niacina és un constituent dels coenzims **NAD** (nicotín-adenín-dinucleòtid) i **NADP** que intervenen en reaccions d'oxidoreducció de la fotosíntesi i la respiració cel·lular.

Altra substància que actua com a coenzim és el nucleòtid **AMP** i les seues formes fosforilades **ADP** i **ATP** (adenosín-trifosfat) que intervenen en reaccions de transfèrència de grups fosfat (i per tant d'energia)

3.3 Mecanisme d'acció enzimàtica

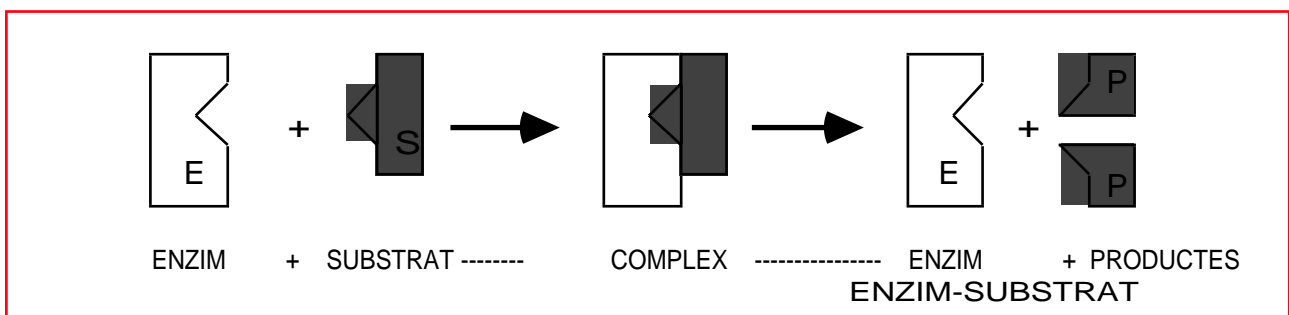
Com a regla general, els enzims són altament específics per a les reaccions que catalitze, és a dir, cada enzim té a la seua superfície una zona activa (**centre actiu o catalític**) a la qual s'adapta perfectament la molècula de substrat que té una geometria complementària a la configuració espacial del centre actiu. Per això, la unió de l'enzim amb el substrat es diu que segueix el **model clau-pany**: cada enzim només es pot unir ("obrir-se") amb el seu corresponent substrat ("clau")

El **centre actiu** de cada enzim està constituït per determinades seqüències d'aminoàcids (**de fixació i catalítics**), de tal manera que les seues cadenes laterals aporten grups funcionals actius, capaços de crear condicions físico-químiques òptimes perquè la molècula de substrat es transforme en el corresponent producte.

D'aquesta manera, alguns enzims aporten un ambient iònic, altres generen un ambient fortament apolar; alguns altres desenvolupen un paper més actiu deformant els enllaços dels substrat, en traure un protó o formar enllaços covalents temporals amb determinades regions del substrat



En qualsevol reacció química catalitzada, l'enzim i el substrat formen primerament el **complex enzim-substrat**, molècula transitòria que, després de l'acció enzimàtica, origina el producte i l'enzim que resta sense alterar



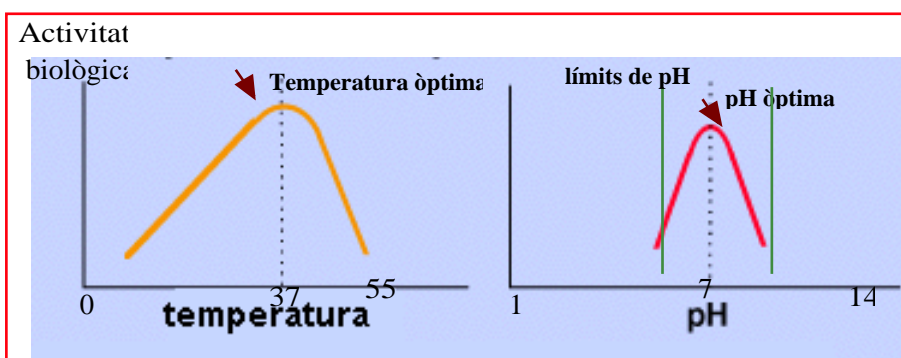
3.4 Factors que influeixen en l'activitat enzimàtica

L'activitat enzimàtica depèn d'una sèrie de factors entre els quals destaquen:

3.4.1 Temperatura

L'augment de calor provoca l'augment de la mobilitat de les molècules, cosa que provoca una major reactivitat (la velocitat de reacció es duplica en augmentar la temperatura 10°C). Però per damunt d'una determinada temperatura (55-60°C) l'enzim es desnatura i perd la seua forma nativa com a conseqüència del trencament dels enllaços febles que estabilitzaven l'estructura dimensional. La pèrdua de la forma específica impossibilita la seua funció.

Tenim una temperatura òptima on l'activitat enzimàtica és màxima. Com a excepció podem destacar determinats bacteris que viuen en aigües termals a 90°C. El descens de la temperatura no arriba a desnaturar els enzims però els fa disminuir la seua activitat: aquesta és la raó de per què els animals poiquiloterms es veuen obligats a hivernar.



3.4.2 pH

Els enzims actuen dintre d'uns límits reduïts de pH, fora dels quals es desnaturalitzen i perden la seua funció biològica.

Aquesta desnaturització és deguda a canvis de les formes ionitzades/no ionitzades de les cadenes laterals dels aminoàcids de la cadena polipeptídica; això provocarà diferents interaccions entre els aminoàcids que afec-

ten a l'estructura proteica.

El pH pot afectar de diverses formes:

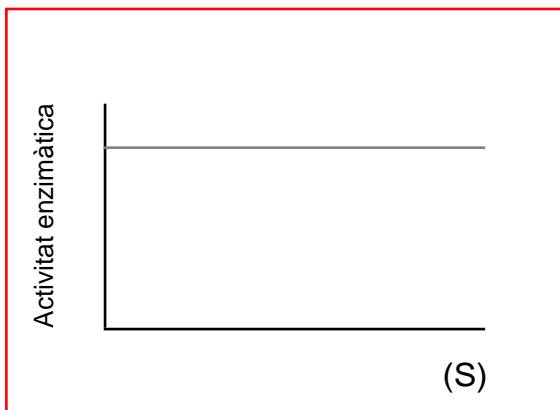
- * El centre actiu pot contenir aminoàcids amb grups ionitzats que poden variar amb el pH.
- * La ionització d'aminoàcids que no són al centre actiu pot provocar modificacions en la conformació de l'enzim.
- * El substrat pot veure's afectat per les variacions del pH.

Definim **pH òptim** com el valor de pH on l'activitat enzimàtica és màxima. Cada reacció enzimàtica té el seu pH òptim. La major part dels enzims presenten valor de pH òptim propers a la neutralitat. Alguns enzims presenten variacions peculiars. La **pepsina** del estómac, presenta un òptim a pH=2, y la **fosfatasa alcalina** de l'intestí un òptim a pH=12

3.4.3 Concentració de substrat

En principi cal suposar que a major concentració, major activitat enzimàtica; en la realitat, però, tenim un comportament diferent:

Quan la concentració de substrat és baixa, la velocitat de reacció és proporcional a la (**S**); a mesura que s'incrementa (**S**), la velocitat augmenta de forma més gradual; amb un augment posterior de (**S**) arriba un



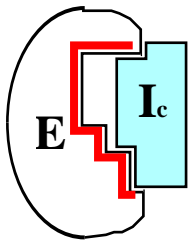
moment que la velocitat de reacció es fa independent de (**S**). Es diu, aleshores, que l'enzim està saturat amb el seu substrat. L'explicació d'aquest fenomen és la següent: Si augmenta (**S**), també ho fa la possibilitat d'unió **E-S**; si (**S**) és massa gran, la velocitat de reacció no augmenta perquè tot l'enzim estarà ocupat en forma de **ES** i no hi haurà espai per a nou substrat.

3.4.4. Inhibidors de l'activitat enzimàtica

Determinades substàncies es comporten com a inhibidors enzimàtics perquè disminueixen i, fins i tot, anul·len l'activitat enzimàtica. Són substàncies molt interessants, ja que, bé actuen com a reguladors del metabolisme o bé són utilitzades per l'estudi dels mecanismes d'acció enzimàtica. Podem distingir-hi:

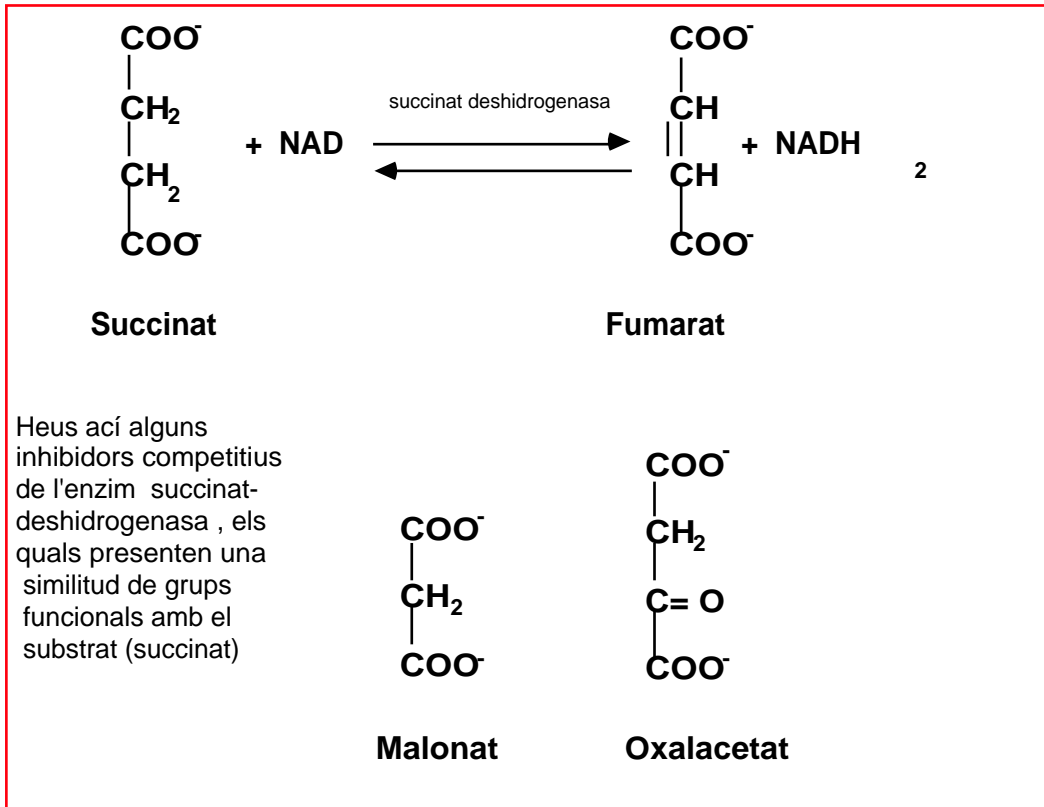
* **Inhibidors irreversibles o verins**: molècules que s'uneixen irreversiblement al centre actiu de l'enzim (complex inhibidor-enzim **EI**) i l'inutilitzen: Un exemple el tenim en la unió irreversible del centre actiu de la citocrom-oxidasa, enzim de la cadena de transport electrònic de la respiració cel·lular i el grup cianur

* **Inhibidors reversibles:** La seua unió amb l'enzim és temporal i la seua acció s'anul·la quan augmenta la (S). Tenim dues classes

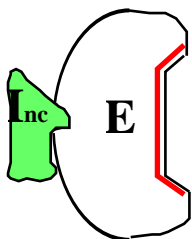


* **Inhibidors competitiu**s, molècules que presenten una gran semblança espacial amb el substrat, amb el qual competeixen per unir-se al centre actiu de l'enzim provocant l'aparició d'un complex inhi-bidor-enzim : $I + E \rightleftharpoons EI$

Exemple: inhibició de l'enzim succinat deshidrogenasa que apareix en la figura següent:



El substrat d'aquest enzim és el succinat (àcid succinic) que es transformarà en fumarat (àcid fumaric). L'enzim pot unir-se també amb altres molècules d'estructura semblant el succinat com el malonat o l'oxalacetat.



* **Inhibidors no competitiu**s. Redueixen l'activitat enzimàtica a causa de la distorsió de la conformació de l'enzim en unir-se a aquest en un punt diferent al centre actiu, anomenat centre regulador. Molts d'aquests inhibidors són **reguladors al·lostèrics** (els estudiem més endavant)

3.5. Integració metabòlica dels enzims (regulació enzimàtica)

Hem vist com la pràctica totalitat de les reaccions metabòliques dels éssers vius estan catalitzades per l'actuació dels enzims. Per exemple, si una cèl·lula té necessitat d'un determinat component, el fabricarà a partir d'una sèrie de reaccions metabòliques catalitzades enzimàticament (via metabòlica); una vegada té prou quantitat d'aquest component, de quina manera pot aturar aquest procés de fabricació? Així doncs, sorgeix la necessitat de regular l'activitat enzimàtica, és a dir, de regular el metabolisme cel·lular; els enzims no actuen en reaccions aïllades, sinó

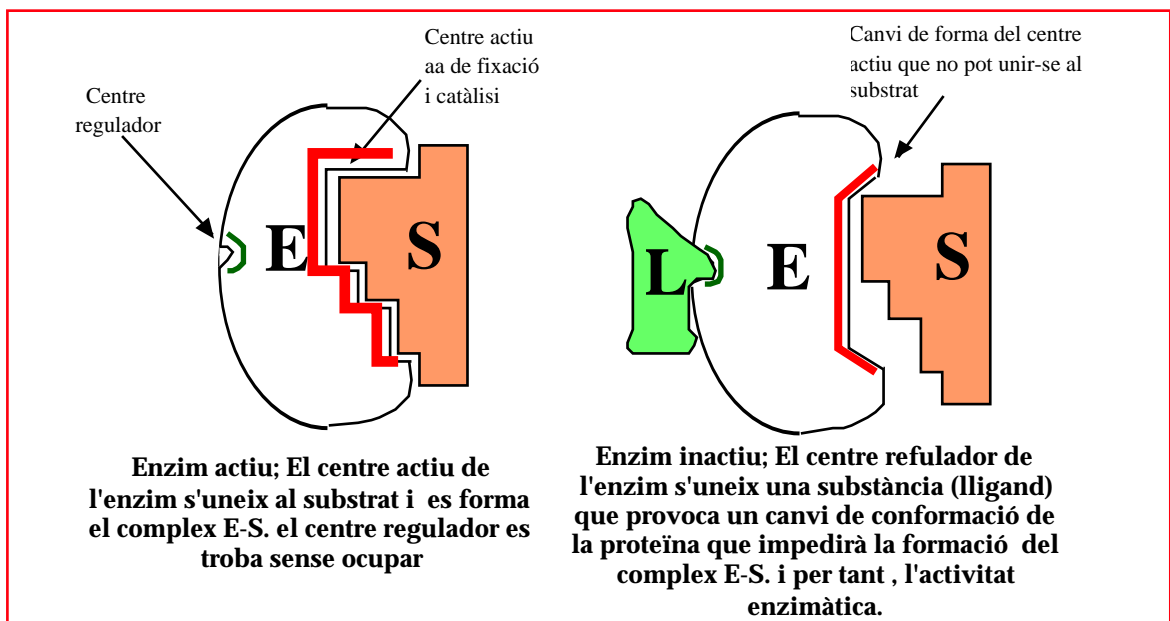
Necessitat d'una regulació enzimàtica

integrades en un conjunt molt més ample de reaccions interrelacionades: el **metabolisme**. El conjunt d'enzims que participen en una sèrie de reaccions que duen a la formació d'una determinada substància final s'anomena **sistema multienzimàtic**.

En molts sistemes multienzimàtics el producte final de la seqüència de reaccions pot actuar com a inhibidor específic de l'enzim situat al començament de la ruta metabòlica. aquest tipus d'inhibició es diu **inhibició per feed-back (retroinhibició)**

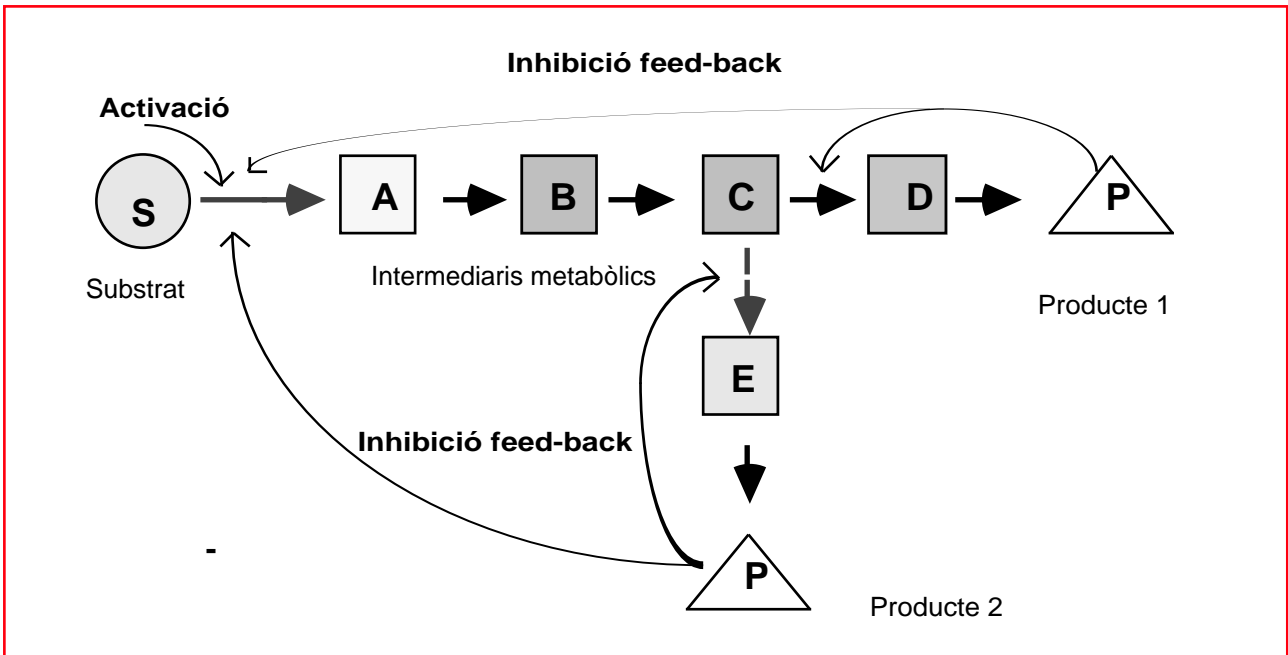
El primer enzim de la seqüència, aquell qui és inhibit, rep el nom d'**enzim al·lostèric** o **regulador**. Aquest tipus d'enzim, a més del seu centre catalític, posseeix un altre espai actiu (**centre regulador**) on s'uneix una **molècula reguladora** o **l·ligant** (estimuladora o inhibidora). Aquests enzims són capaços d'adoptar dos conformacions diferents i estables:

- * Una **activa**, en la qual es fixa el substrat a través del centre catalític per a donar lloc al següent compost de la via metabòlica.
- * Una altra **inactiva**, en la qual el producte final de la, via metabòlica es fixa al centre regulador de manera que inhibeix l'acció enzimàtica normal. A mesura que augmenta la concentració del producte final, l'enzim es transforma de mica en mica en la seua forma inactiva.



En altres casos l'enzim s'activa quan s'uneix a una molècula moduladora (l·ligand activador) que s'acumula quan la cèl·lula és deficitària en un producte de la via metabòlica a la qual pertany l'enzim al·lostèric. La seua unió indueix el canvi conformacional que afavoreix la seua activitat

D'aquesta forma, la cèl·lula sintetitza un producte determinat únicament quan és necessari, i mantenint automàticament la concentració de metabolits, a banda de resultar un estalvi energètic.



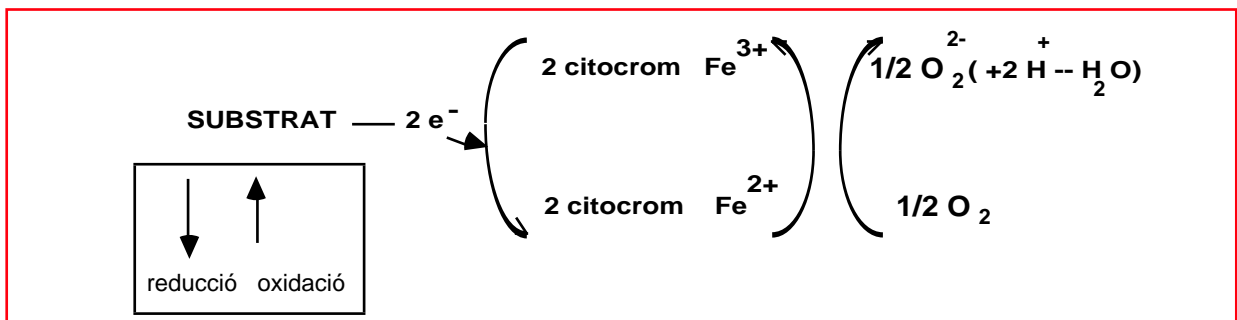
3.6. Classificació els enzims. Exemples

Els enzims s'anomenen afegint el sufix **-asa** al del substrat sobre el qual actuen (amilas, enzim que actua sobre el midó); en ocasions s'afegeix també el nom de la funció que realitzen (lactodeshidrogenasa, enzim que catalitza l'oxidació -deshidrogenació- de l'àcid làctic). Hi ha també un codi numèric internacional (per exemple el número 2.7.3.2. correspon a l'ATP creatin fosfotransferasa):

Els enzims es classifiquen en 6 classes:

1- Oxidoreductases

Catalitzen reaccions d'oxidoreducció dels substrats (pèrdua o guany d'electrons) encaminades, generalment a obtenir energia a partir dels carburants metabòlics. Els més característics són les **deshidrogenases**, que tenen com a coenzims els nucleòtids FAD, NAD o NADP (Ex: el pas de àcid succínic a àcid fumaric de l'esquema de la inhibició competitiva); les **oxidases** catalitzen l'oxidació dels substrats amb l'oxigen molecular per transferir-los a l'oxigen (Ex: citocroms de la cadena respiratòria)



RECORDA **Oxidació** : pèrdua d'electrons $\text{Fe}^{2+} \text{-----Fe}^{3+}$
Reduïció: guany d'electrons $\text{S}^0 \text{-----S}^{2-}$
Oxidant: substància que oxida una altra en reduir-se.
Reductor: substància que redueix una altra, en oxidar-se.

Les biomolècules poden oxidar-se mitjançant dos processos:

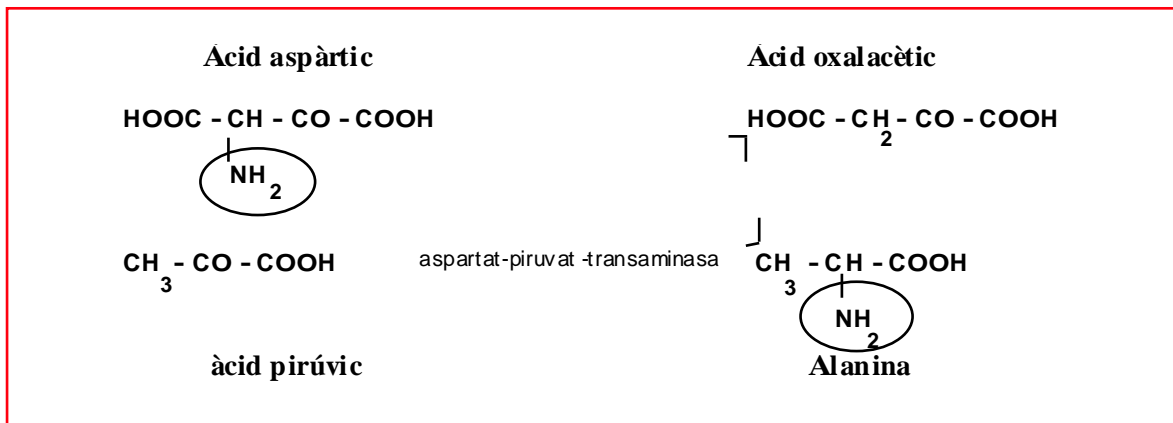
***Deshidrogenació**: Pèrdua d'hidrògens: El C és més electronegatiu que l'H, per la qual cosa atrau l'electró d'aquest. En perdre l'H, desapareix l'electró i el C s'oxida

***Oxidació**: Guany d'oxígens. L'oxigen és més electronegatiu que el carboni; en guanyar oxigen la molècul, aquest atrau l'electró del carbo, el qual queda oxidat

A les reaccions biològiques orgàniques els enzims actuen com a transportadors d'electrons, tot passant successivament per un esta oxidat i un altre reduït

2- Transferases

Catalitzen la transferència de grups funcionals d'un substrat a un altre. Ex: transaminases

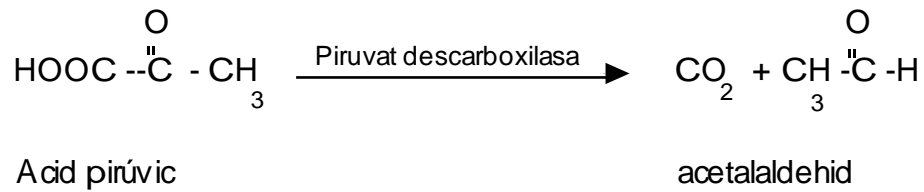


3- Hidrolases

Catalitzen reaccions d'hidròlisi d'enllaços ester (lipases, fosfatases), glicosídics (sacarasa, amilasa), enllaços peptídics (tripsina, pepsina) amb la intervenció de molècules d'aigua. Ex: veure reaccions de formació i destrucció de disacàrids, triglicèrids o pèptids.

4- Liases

Catalitzen reaccions de trencaments o soldadura de substrats sense la intervenció de l'aigua. Ex: descarboxilació

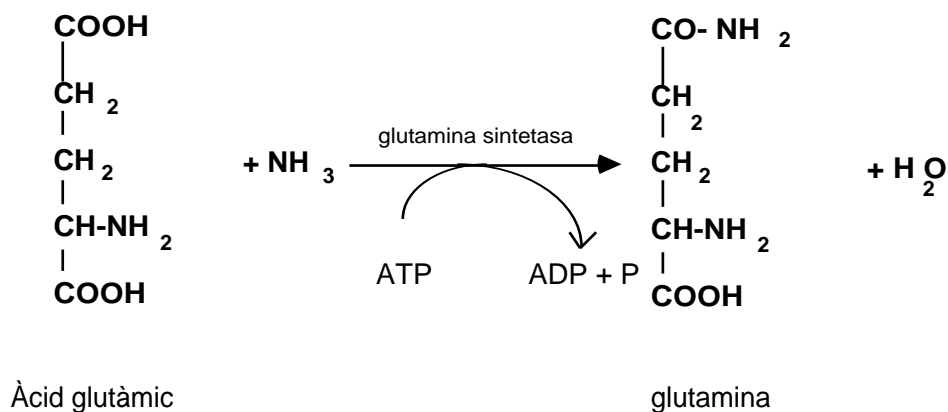


5- Isomerases

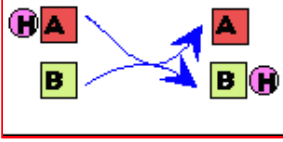
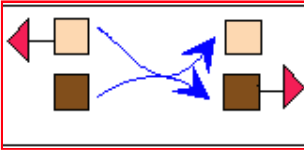
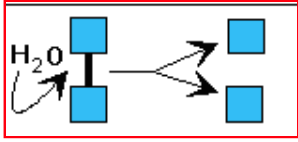
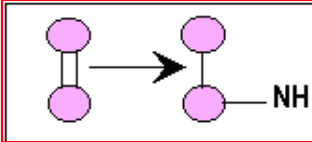
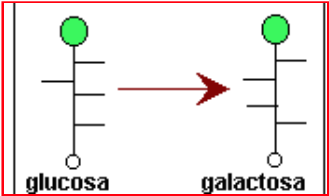
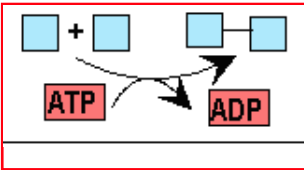
Són enzims que transformen el substrat en molècules isòmeres: Ex; la fosfoglicero-isomerasa que transforma l'àcid 3-fosfoglicèrid en àcid 2 fosfoglicèrid al procés de la glucòlisi.

6- Ligases o sintetases

Catalitzen la formació de nous enllaços entre dos molècules o grups funcionals; l'energia necessària per a la síntesi de l'enllaç l'obtenen de la hidròlisi de l'ATP.



CLASIFICACIÓ D'ENZIMS

<p>1. Óxido-reductases (Reaccions d'oxido-reducció).</p>	<p>Si una molècula es redueix, ha d'haver una altra que s'oxide</p>	
<p>2. Transferases (Transferència de grups funcionals)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * grups aldehids * grups acils * grups glucosils * grups fosfats (kinases) 	
<p>3. Hidrolases (Reaccions de hidròlisi)</p>	<p>Transformen polímers en monòmers. Actuen sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> * enllaç ester * enllaç glucosídic * enllaç peptídic 	
<p>4. Liases (Adició als dobles enllaços)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Entre C i C * Entre C i O * Entre C i N 	
<p>5. Isomerases (Reaccions d'isomerització)</p>		
<p>6. Lligases (Formació de enllaços, amb aportament d' ATP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Entre C i O * Entre C i S * Entre C i N * Entre C i C 	

Bibliografia

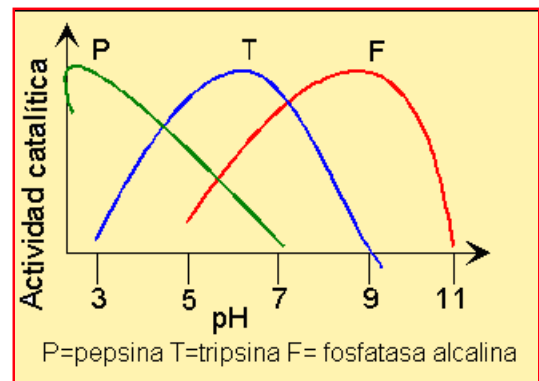
- # ALBERTS B. (1986) Biologia molecular de la cèlula. Ed. Omega Barcelona (B)
- # CAVALLI-SFORZA L. i F. (1994) Qui som. Història de la diversitat humana. Col·lecció Mare Nostrum. Enciclopèdia catalana. Barcelona
- # DOMENECH X et al (1993) Bioelements i biomolècules. Ed. Barcanova. Barcelona.(B)
- # LEHNINGER Curso breve de Bioquímica. Ed Omega. Barcelona (B)
- # PANADERO J. (1990) Biologia COU. Ed. Bruño. Sant Adrià de Besòs.(B)

Qüestions de repàs

- 1* Què és un biocatalitzador?
- 2* Diferències entre vitamines, enzims i hormones
- 3* A què és degut que tant l'aparició d'un catalitzador, com l'augment de la temperatura afavoresquen un increment de la velocitat de reacció?
- 4* Què passaria als éssers vius, si aquests no disposaren d'enzims?
- 5* Classifica les vitamines entre liposolubles i hidrosolubles. Intervé en aquesta classificació la seua estructura química? Per què?
- 6* Busca la funció de 6 vitamines i els símptomes que es deriven de la seua carència (avitaminosi). On podem trobar en els aliments eixes vitamines ?
- 7* Hi ha alguna vitamina que pugua ser sintetitzada pel "cos humà" ?

8* En la figura següent es representa la relació entre el pH i l'activitat catalítica de tres enzims, la pepsina (P), la tripsina (T) i la fosfatasa alcalina (F).

- Indica els valors de pH on dos enzims tenen la mateixa velocitat de reacció.
- Determina l'interval del pH dins del qual té lloc l'activitat enzimàtica en cada enzim
- En medis molt àcids, quin enzim posseix major activitat enzimàtica?
- Si el pH de la sang és 7,3, raona quin/s enzims poden presentar activitat catalítica al plasma sanguíni.



- 9 * Justifica la necessitat d'una regulació enzimàtica.
- 10 * Què és l'al·lostèria?
- 11 * La ingestió prolongada d'antibiotics a fi de tractar determinades infeccions intestinals pot causar determinades hipovitaminosis. De quina vitamina parlem ?
- 12* Defineix: metabòlit, energia d'activación, reacció exotèrmica, apoenzim, substrat.,
- 13* Indica quina classe de reacció catalitzen els enzims següents:
 - * piruvat-quinasa
 - * fosfoglucomutasa
 - * ADN-polimerasa
 - * succinato-deshidrogenasa

