

# 1.GAIA: BOKATALLSIA, OINARRIZKO EZAGUTZA

1. Sarrera
2. Entzimen deskribapen orokorra
3. Katalisi mekanismoak
4. Kofaktore entzimatiiko eta koentzimak

## **1. SARRERA**

### Entzimen aktibitate katalitikoaren erabilera

Entzimak historian zehar aspalditik erabili izan dira. Hauek eragindako prozesuak oso erabilgarriak izan dira zenbait gaien ekoizpenean. Antzinakoena ardoaren sorreran erabiltzen den biokatalisia da (Hammurabi-ren kodea, K.a 2100 urtean) baina gazta, ogia, garagardoa... egiteko ere entzimak erabiltzen dira.

### Entzimologiaren hasiera

Jarraian urteetan zehar zenbait ikerlarik aztertutikoa azalduko da puntuz puntu:

- 1783, Spallanzani: Entzimen aktibitatea aztertu zuen lehen pertsona izan zen. Berak ikusi zuenez, urin gastrikoa gehituzerakoan haragia desagiten zen.
- 1814, Kirchoff: Gariaren konposatu batek almidoia azukre bihurtzen zuela ohartu zen.
- 1833, Payen eta Persoz: Lehenengo entzimaren aurkikuntza. Malta erauzkin bat etanolarekin tratatu ostean, tenperaturarekiko sentikorra zen prezipitatu bat lortu zuten, almidoia hidrolizatzen zuena. *Diastasa* izena jarri zioten, gaur egun, *amilasa* bezala ezagutzen da.
- 1834, Schwann: Pepsina (proteinak hidrolizatzen dituen proteina da).
- 1838, Cagniard eta Latour: Hartzidura mikroorganismoek eragiten zutela ohartu ziren.

### "Katalisia" kontzeptua

- 1837, Berzelius: "Erreaktibitate kimikoa duen indar berri bat daukagu (organikoa zein inorganikoa), zeina substantzia bat berrantolatu dezakeen beste bat emateko, bere konposatuak aldatu gabe". Lehenengo aldiz **katalisi** izena erabili zuen.

### Entzimak bizirik al daude?

- 1839, Liebig: "**Hartziduraren teoria kimikoa**". Hartzailaren atomoen mugimenduak, azukrearen atomoen mugimendua eragiten du, alkohola eta CO<sub>2</sub> sortuz.
- 1858, Pasteur: "**Bizi-Indarra**". Hartzidura eman dadin, legamia edo beste globulu batzuen hazkuntza beharrezkoa da.

### “Entzima” hitza

- 1878, Kühne: “Entzima” (=legamietan). Grekotik datorren hitza da; *en* (barruan) eta *zima* (legamia). Legamiaren barruan dagoen zerbait dela esaten du, eta ez legamia bera.

### Entzimak espezifikoak dira

- 1894, Fischer: “**Giltza eta sarrailearen modeloa**”. Entzima batek bere substratua eraldatzeko, berarekin elkar eragin behar du. Elkarrekintza hori soilik substratua eta entzimak osagarriak diren konfigurazio geometrikoak dituztenean ematen da.

### Entzimak molekulak dira

- 1897, Büchner E. eta H.: “Hartzidura gerta dadin, legamia ez da beharrezkoa. Solugarria den hartzitzaile bat da erreakzioa burutzen duena. Agente subzelular horri **zimasa** deitu zioten.

### Entzimak proteinak dira, eta batzuetan kofaktoreak behar dituzte beraien funtzioetarako

- 1897, Bertrand: Entzima batzuk beste faktore batzuk behar dituzte beraien aktibitateko **koentzimak** deitu zien.
- 1902, Henri eta Brown: **Entzima-substratu** konplexua beharrezko bitartekaria da erreakzio katalitikoan.
- 1909, Sørensen: pH-aren efektua aktibitate entzimatikoa.
- 1926, Sumner: Ureasa entzima kristalizatu zuen.
- 1930, Northrop-en taldea: Pepsina, tripsina eta kimiotripsina kristalizatu zituzten.

### Zinetika entzimatikoa

- 1913, Michaelis eta Menten: Michaelis-Menten ekuazioa planteatu zuten.
- 1925, Briggs eta Haldane: “**Egoera geldikorra**” kontzeptua barneratu zuten.
- 1940-1950: Entzima berri asko aurkitu eta kristalizatu zituzten, ikerketa entzimatikoa gehienak Michaelis-Menten edo Briggs-Haldaneren ekuazioak erabiliz (monosubstratuak).
- 1950-1960: Entzima bisubstrato eta trisubstratoen zinetika aztertzeke ekuazioak planteatu ziren.
- 1963, Cleland: Metodo erraz eta orokorra substratu anitzeko entzimen zinetikak aztertzeke egoera egonkorren.
- 1965, Monod, Wyman eta Changeux: Entzima alosterkoentzako modelo zinetikoak planteatu zituzten.

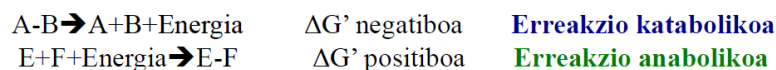
Gaur egungo biokatalisia edo entzimek buruzko ikerketa jakintza guzti hau kontuan hartuz garatu da.

### Bizitza, energia eta erreakzio akoplatuak

Erreakzio kimikoak energiaren arabera banatu daitezke:

- Exergonikoak: energia askatzen dute.
- Endergonikoak: energia behar dute.

Gure zeluletan erreakzio endergonikoak gertatu daitezten, erreakzio exergonikoekin akoplatzen dira, hau da, erreakzio exergonikoen energiak baliatuz erreakzio endergonikoak burutu daitezke. Adibidez, ATP molekula bat apurtzean askatzen den energia beste erreakzio bat emateko erabili daiteke. Gibbs-en energia negatiboa izateak (erreakzio espontaneoak) erreakzioa berez emango denaren informazioa ematen digu baina honek ez du erreakzioaren abiadurarekin ez du zerikusirik.



Bizitza, modu zehatz batetan antolatutako erreakzio kimikoetan oinarritzen da. Hala ere, erreakzio hauetatik asko, berez **oso abiadura motelean gertatzen dira**. Abiadura hauek ez dira bizitzarekin bateragarriak, ezingo genuke itxaron berez erreakzio bat espontaneoki gertatu arte.

Bizitzarekin bateragarria den erreakzio abiadurak lortzeko **katalizatzaile biologikoak** edo **biokatalizatzaileak** ditugu naturan.

Biokatalizatzaile mota ezberdinak daude, proteikoak edo ez-proteikoak

- Proteikoak: entzimak (proteinak), antzimak (aktibitate katalitikodun antigorputzak), sintzimak (sintetikoak) izan daitezke.
- Ez proteikoak: RNA molekuletan oinarritzen dira eta ribozima bezala ezagutzen dira.

Guzti hauetatik erabilienak eta arruntenak **entzimak** dira, hauek aukera dute erreakzioak  $10^4$ -tik  $10^{18}$ -ra erreakzioak azeleratzeko, horrela asko hobetzen da erreakzio abiadura.

	Abiadura entzima gabe	Abiadura entzimarekin
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	1	$10^7$ (Anhidrasa karbonikoa)
$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	1	$10^9$ (Katalasa)
$\text{G-1-P} \rightarrow \text{G-6-P}$	1	$10^{12}$ (Fosfoglukomutasa)
$\text{Urea} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{CO}_2$	1	$10^{14}$ (Ureasa)

Taula: bikarbonatoa gure gorputzeko indargetzaile nagusia da (pH a erregulatzeko ezinbestekoa da bestela sistema asko azidifikatuko litzateke). Bere abiadura normalizatuta katalizatu gabe 1-ekoa izango litzateke eta entzimari esker askoz handiagoa da. Berdina gertatzen da ureasarekin.

### Entzimak, katalizatzaile biologikoak

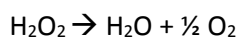
Entzimak, izaki bizidunek sintetizatzen dituzten eta prozesu oso espezifikoak modu eraginkorrean katalizatze gaitasuna daukaten proteinak dira.

Izaki bizidunek hainbat entzima ezberdin dituzte. Eukariotoetan kopurua handiagoa da, prozesu gehiago, bidezidor gehiago baitituzte.

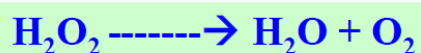
Entzimen aktibitate katalitikoa **temperatura**, **pH** eta **presio leunetan** ematen dira, bizitzarekin bateragarriak diren egoeretan. Hau organismoaren egoeraren arabera erregulatu daiteke, metabolismoaren erregulazioa, (katabolismoa edo anabolismoa aktibatuko da egoeraren eta ingurunearen arabera) bestela ezingo genuke ingurunera adaptatu eta hau oso garrantzitsua da, aktibitatea baldintzetara erregulatzea oso garrantzitsua da.

Entzima gabezia → metabolismo zelularrik EZ → bizirik EZ

**Katalizatzailea:** prozesuan aldaketarik jaso gabe, erreakzio baten abiadura handitzen duen substantzia da. Prozesu biologikoen barnean gehienak entzimak dira eta substratua entzima horrekin eragiten duen substantzia da.



Ur oxigenatuaren erreakzioa katalizatzailearik gabe ezingo litzateke behar bezala eman, izan ere, termodinamikoki oso faboratua egon arren, **oso geldoa** da (katalisirik ematen ez bada).



Erreakzio abiadura		
Katalizatzaile gabe	1	$10^0$
Katalizatzaile kimiko batekin ( $\text{FeCl}_3$ )	1.000	$10^3$
Katalasaren presentzian	1.000.000.000	$10^9$

Adibide honetan **termodinamikoki faboratuta** dagoen **erreakzio baten abiadura**, **katalizatzailearen presentziaren eta motaren** arabera dela ikus daiteke.

Biokatalizatzaileak industrian oso erabilgarriak dira, espezifikoak izateaz gain, eraginkorrak direlako (sintetikoak baino askoz ere eraginkortasun handiagokoak dira).

## 2. ENTZIMEN DESKRIBAPEN OROKORRA

Entzimen ezaugarri nagusiak ondorengoak dira:

2.1: Proteinak dira.

2.2: Entzimak zentru aktiboa(k) d(it)u.

2.3: Espezifikoak dira.

2.4: Aktibazio energia aldatzen dute (txikituz) baina ez dute oreka kimikoan eraginik.

## 2.1 Entzimak proteinak dira

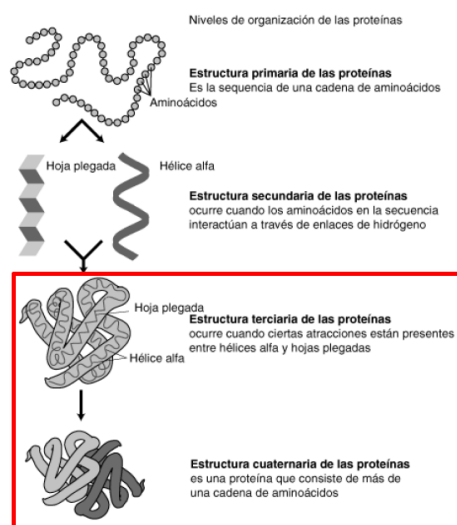
Aktibitate **katalitikoa** duten proteinak dira. Bi taldetan sailkatu daitezke:

- Zuntz proteinak: uretan disolbaezinak, pisu molekular handikoak eta egitura funtzioa dute.
- Proteina globularrak: orokorrean uretan solugarriak dira. Pisu molekular eta funtzio oso desberdinak dituzte. Talde honetan sartzen dira **entzimak**.

### Proteinen egitura:

Proteinen konformazioa 5 indar mota desberdinak egonkortzen dute (indar ahulak):

- Van der Waals.
- Hidrogeno zubiak.
- Disulfuro zubiak.
- Lotura elektrostatikoak.
- Elkarrekintza hidrofobikoak.



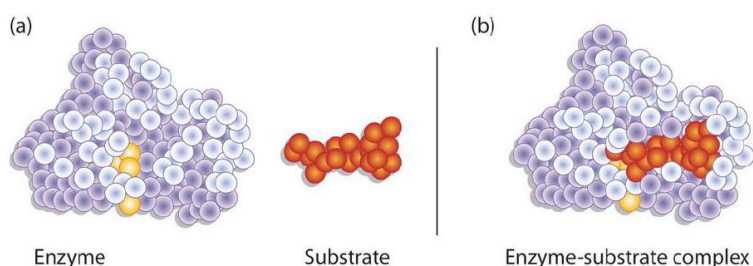
Entzimak batek bere egitura tertziarioa galtzen badu, bere aktibitate katalitikoa ere galtzen du. Gainera, entzima batzuk aktibitatea izateko egitura kuaternario bat behar dute, aktibitatea tolesketa egokiaren arabera izango delarik.

Zenbat azpiunitatez osatuta daudenaren arabera, oligomerizazio maila ezberdinak daude. Azpiunitateak berdinak ala ezberdinak izan daitezke, homo-oligomeroak (berdinak) ala hetero-oligomeroak (desberdinak) sortuz.

Oligomerizazio maila desberdinak:

2 azpiunitate	Dimeroak
3 azpiunitate	Trimeroak
4 azpiunitate	Tetrameroak
5 azpiunitate	Pentameroak

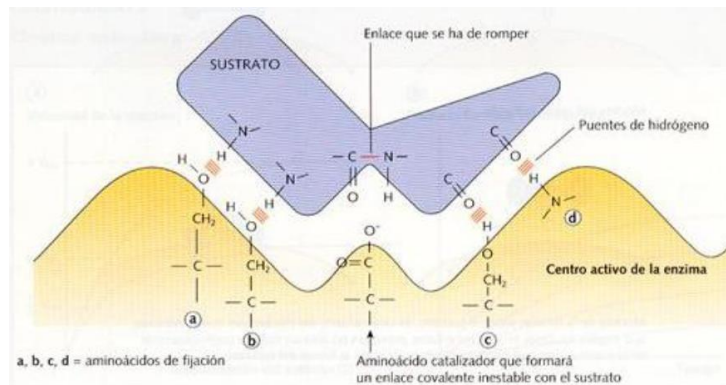
## 2.2 Entzimak gune aktiboa(k) d(it)u



Gune aktiboak hainbat ezaugarri ditu:

- Substratuarekin batu eta aktibitate katalitikoa ematen den gunea da.
- Entzima osoaren proportzio txikia da, substruarentzat eskuragarri egoteko azaleratik gertu aurkitzen dena.
- Aminoazido desberdinek (egitura primarioan ez dute zertan gertu egon behar) eratzen dute eskualde tridimentsionala.
- Substratua lotura AHUL baten bidez batuko da.
- Orokorrean aminoazido polar eta ez-polarrek osatutako mikroingurune bat da, substratua bertan txertatu ahal izateko.

✚ Gune aktiboko aminoazido motak:

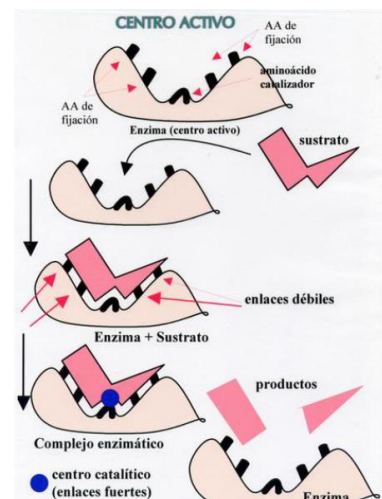


Gune aktiboko aminoazidoak mota ezberdinak izan daitezke eta eginkizun ezberdinak izango dituzte:

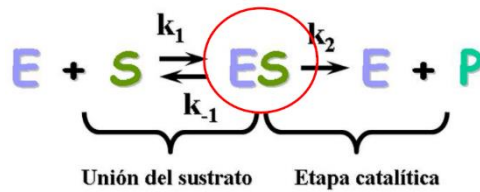
- Substratua **batzeko** aminoazidoak dira eta substratua finkatzen dute elkarrekintza ahulen bidez.
- **Konformazio** mantentzen duten aminoazidoak dira eta ez dute substratuarekin elkarrekintzarik izaten.
- **Katalisia** eragiten duten aminoazidoak dira.
- Aminoazido katalitikoek substratuarekin lotura kobalenteak eratzen dituzte.

✚ Gune aktiboa:

Entzimen aktibitatea egitura tertziario/kuaternarioari lotuta dago. Aminoazido katalitikoak oso urriak izaten dira; lisozimaren kasuan soilik 2 dira, eta guztira 129, hauek guztiak beharrezkoak izango dira tolestura egokia izateko.

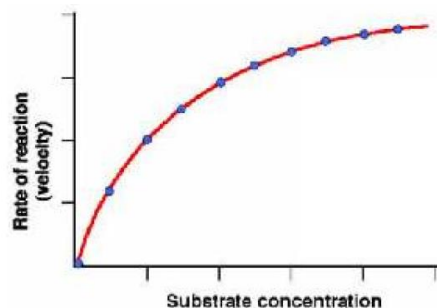


## Entzimak zentro aktiboa(k) d(it)u

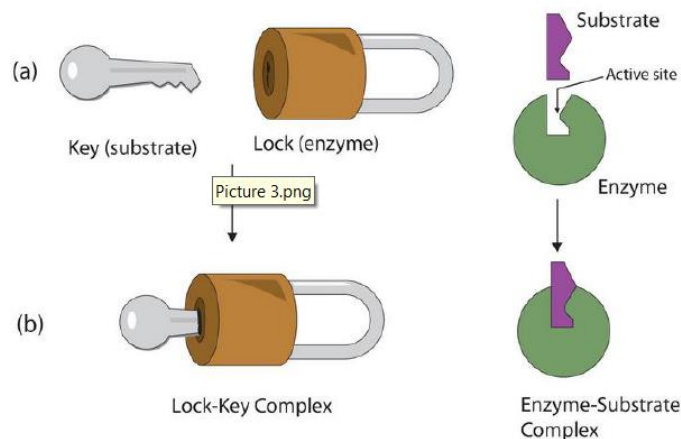


Erreakzio entzimatikoa emateko ES (entzima-substratu) bitartekaria sortzen da. Batura gune honetaz hainbat esperimendu egin ondoren ohartu ziren. Lehenengo aurkikuntza 1890ean egin zuten. Alde batetik, entzima bat hartu zuten eta bestetik, entzima eta substratua. Bi saiodi horietan tenperatura aldaketak eragin zituzten eta substratua gehitu zen saiodiko ES konplexuak tenperatura aldaketa hobeto jasaten zuela ikusi zuten.

Beste esperimendu batzuetan, substratu kontzentrazio ezberdinak jarri eta hasierako abiadurak neurtu zituzten. Puntu batean saturazio efektua ematen zela ondorioztatu zuten, hau da, puntu batetik aurrera substratuaren kontzentrazioa entzimarena baino altuagoa denean saturazioa emango da.

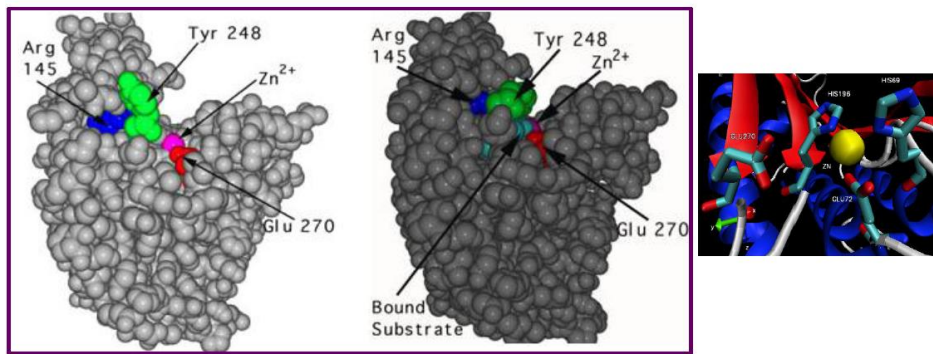


**Fischer-en teoria (1894) "giltza eta sarraila":** substratua eta gune aktiboa egitura eta elkarrekintza kimikoei dagokionez osagarriak dira. Entzimaren egitura hori izango da substratuari espezifikotasuna emango diona.



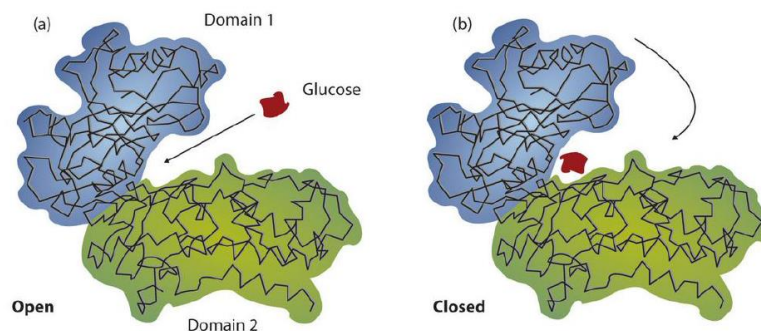


Geroago konturatu ziren hau ez dela beti betetzen, karboxipeptidasa-ren kasuan esaterako.



Ezkerrean entzima ligandorik gabe azaltzen da; eskuinean aldiz, entzima substratuari batuta. Koloreztaturako aminoazidoen (tyr, arg) kokapena ezberdina da ligandoa lotuta dagoenean. Fisherren modeloak ez du entzima honen egitura edo konformazio aldaketa azaltzen. Beraz, teoria ez da guztiz zuzena.

Honen hobekuntzarako beste modelo bat proposatu zuten, **Koshland-en teoria (1958):** **Eragindako doikuntza/doitze indutua**. Hexokinasa-ren adibidea:

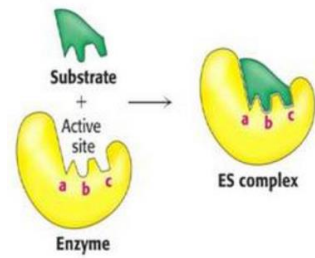


Ezkerreko irudian, ligandorik gabe entzimak duen konformazioa adierazten da. Ligandoaren loturaren ondorioz, konfigurazio aldaketa bat gertatzen da. Teoria honen oinarriak ondorengo puntuetan adierazten dira:

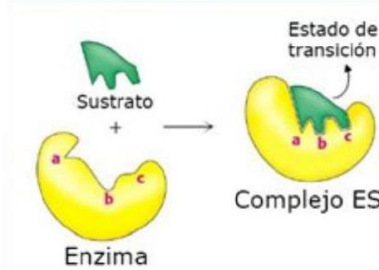
- Ez dago entzimaren aurreko moldaera bat, lotura aminoazidoek eragindako egokitzapen bat baizik.
- Substratuak, entzimaren berrordenatze espezifiko bat ekarriko du.
- Entzimak eta substratuak egitura aldaketa jasaten dute lotura dela eta.
- Entzimaren gune aktiboa, ez da ez substratu ez produktuaren osagarri, bien artean sortzen den TRANSIZIO EGOERARENA (entzima-substratu) baizik.
- Substratuaren antzekoak diren molekulak entzimari batuko zaizkio baina ez da aktibitate katalitikorik egongo, berrantolaketa ez baita egokia izango.
- Aldaketa konformazionalak ematen dira, hau izanik alosterismoaren oinarria.



### Fischer-en Modeloa



### Koshland-en Modeloa

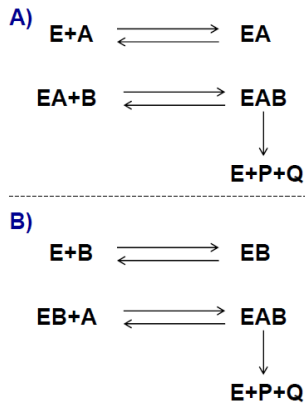


Hortaz, bi modelo daude, Fischer eta Koshland. Egoeraren arabera bat edo bestea aplikatuko da (monosubstratuen kasuan Fischer erabiliko da).

- Fischer: mekanismo sekuentziala, substratuak edozein ordenetan batu daitezke (azkena aktibitate entzimatikoa izango duena), ez dago konfigurazio aldaketarik.
- Koshland: mekanismo sekuentzial ordenatua, bi bideak ez dira posibleak, EAB sortzeko modu bakarra dago. Entzima lehenengo A substratuari batu, EA konplexua eratu, eta honek jasandako konformazio aldaketa ezinbestekoa izango da B batzeko. Alderantziz ez da posible, EB ez da inoiz sortuko.

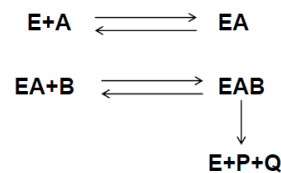
### Fischer-en Modeloa

#### Mekanismo sekuentziala



### Koshland-en Modeloa

#### Mekanismo sekuentzial ordenatua



Ez da inoiz EB sortuko

Proteina bat definitzeko kontutan hartu behar da nolakoa den Mm, aminoazido konposaketa, sekuentzia, tamaina, forma... baina entzima bat aktibitateagatik definitzen da ondorego puntuak kontsideratuz:

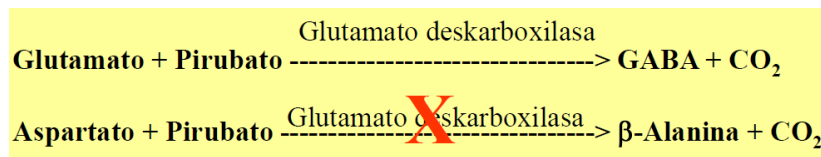
- Katalizatzen duen erreakzioa.
- Substratu/produktu espezifikitatea.
- Aktibitaterako pH optimoa.
- Aktibitaterako tenperatura optimoa.
- Mekanismo katalitikoa

### 2.3 Entzimak espezifikoko dira

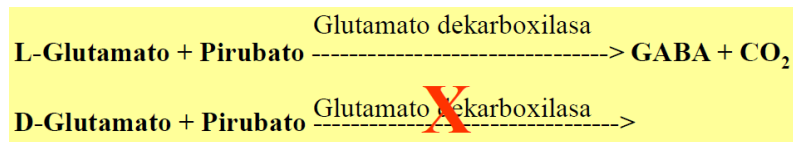
Espezifizitate maila oso altua dute 3 puntutan:

- Funtzioan: erreakzio biokimiko mota bakarra katalizatzen dute.
- Substratuan: entzimak bere benetako substratua eta antzeko baten artean desberdindu dezake, analogo bat.
- Estereokimiko edo optikoa: entzimak isomero optikoen artean desberdindu dezake.

**Substratuarekiko espezifizitatea:** entzima gehienek substratu bakar bat edo gutxi batzuk erabili ditzakete.



**Espezifizitate kirala:** entzima batzuk isomero batzuegan soilik dute eragina. L eta D bereizteko gai dira, entzima bakoitzak bere isomeroa ezagutzen du. Katalizatzaile kimikoak aldiz, ez dira horren espezifikokoak. Bizitzan L aminoazidoak aukeratu izan dira.



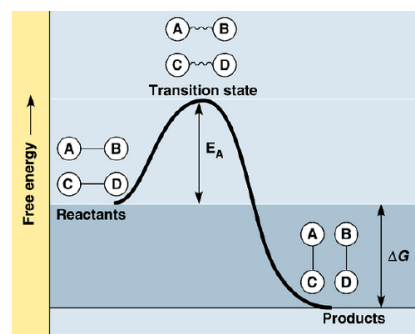
### 2.4 Entzimek aktibazio-energia aldatzen dute

Edozein erreakzio kimiko emateko molekulen arteko talka eman behar da, kontaktu bat, eta horiek orientazio egokia izan behar dute. Horrez gain, substratuek erreakzioa eman ahal izateko beharrezko energia izan behar dute, aktibazio energiara iritsi behar dute, E<sub>a</sub>. Bitartekari aktibatu bat lortu behar da eta horretarako eman beharreko energiari aktibazio-energia deritzo.

**Aktibazio energia** tenperatura jakin batean substratu mol bat trantsizio egoerara eramateko beharrezko energia da (kalorietan).

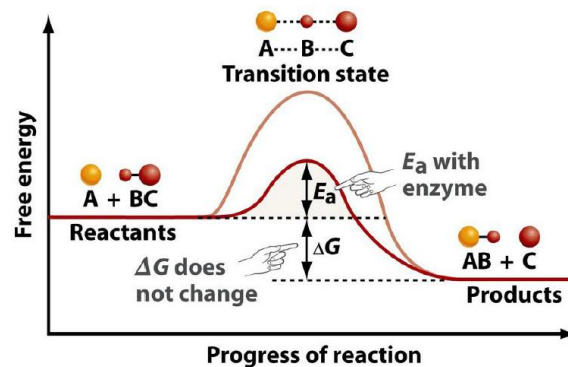
**Trantsizio egoera** erreakzioaren egoera energetikoenari deritzo, erreaktibo molekula guztiak talkak jasatean lortuko da produktua.

y ardatzean Gibbs-en energia askea eta x ardatzean erreakzioaren garapena. Erreakzioaren Gibbs-en energiaren aldaketa produktuena – erreaktiboena da.



Abiadura azkartzeko bi modu daude. Alde batetik tenperatura igo dezakegu, talka kopurua igotzeko, edo bestetik, aktibazio energia jaitsi, azken honetarako bitartekariez baliatzen gara. Tenperatura fisiologikoetan katalisiak beste garrantzi bat du, izan ere ezin dugu tenperatura igo ez delako biziarekiko bateragarria. Horregatik, entzimek aktibazio energia jaisten dute. Entzimen

bidez trantsizio egoera egonkortzen da (energia jaitxi). Kontuan izan behar da, entzimek ez dutela substratu edo produktuen Gibbs-en energia askea aldatzen.



**Entzima:** aktibazio energia txikituz erreazio abiadura azkartzen duen katalizatzaile biologikoa da.

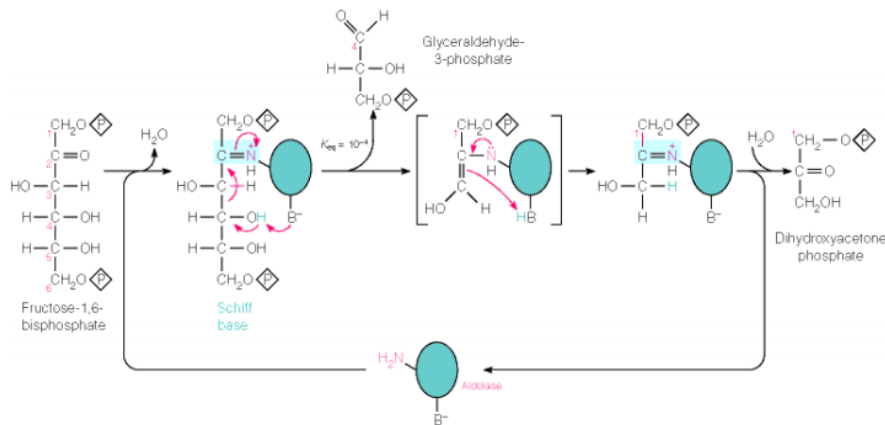
KONTUAN HARTU: Entzimek ez dute erreazioaren Gibbs-en energia askearen aldaketarik ekartzen. Aldatzen den bakarra aktibazio energia da, ez du sekula oreka konstantea aldatzen. Oreka konstantea (K) aldatzeko modu bakarra Gibbs-en energia askea aldatzea da, beste erreazio bat izatea edo tenperatura aldatzea (gure gorputzeko tenperatura teoriarik ez da aldatzen).

- Entzima batek, nahiz eta katalizatzen duen erreazioan parte hartu, ez du aldaketarik jasaten erreazioan zehar. Hasieran eta bukaeran berdin gelditzen da.
- Entzimek erreazioaren abiadura aldatzen dute, baina orekako konstantea ez dute inoiz aldatuko (ez dute erreazio baten orekan inongo eraginik).

### 3. KATALISI MEKANISMOAK

Entzimen artean garatzen diren katalisi mekanismo ohikoenak 3 dira:

- 1- **Azido-base katalisi orokorra:** Azidoek trantsizio egoera egonkortzen dute  $H^+$  bat emanaz, eta baseek jasoz. Hain zuzen ere, azidoen kasuan protoia ematean bitartekaria egonkortzen da (energia baxuagoa), eta ondorioz, erreazioaren aktibazio energia jaisten da. Baseekin kontrako.
- 2- **Katalisi kobalentea:** Trantsizio egoera lotura kobalenteen aldaketen bidez egonkortzen da. Beste modu batera esanda, entzima molekulara lotu eta trantsizio egoeran lotura kobalente batzuk eratzen dituzte, lotura horiek aktibazio energia jaisten dutelarik. Adibide gisa, aldolasaren erreazio har daiteke (glukolisisiko entzima da). Aldolasa substratuari lotzen zaio, eta elektroio mugimenduak lotura kobalenteen berrantolaketa bat eragingo du. Ondorioz, aktibazio energia jaitxi egiten da.



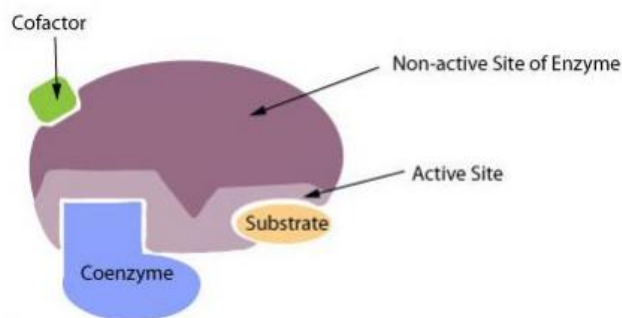
- 3- Ioi metalikoen bidezko katalisia:** Trantsizio egoera edo bitartekaria ioi metaliko batekin izandako interakzio elektrostatikoengatik egonkortzen da. Trantsizio egoerako energia murrizten da ( $\Delta E$  murriztu), eta horrela, erreakzioa azkartzen da.

Orokorrean, katalisiak substratu eta entzimaren arteko aldi baterako interakzio kobalentea eragiten du, baita talde desberdinen transferentzia bidez entzimatik edo entzimara. Modu honetan, erreakzio bide berri bat sortzen da. Bide honek energia gutxiago behar duenez, azkarragoa da. Abiadura azkartzeko erabiltzen den energia zati handi bat substratu eta entzimaren arteko lotura ahuletatik dator. Lotura hauek hidrogeno loturak, elkarrekintza hidrofobikoa eta elkarrekintza elektrostatikoak izan ohi dira.

#### 4. KOFAKTORE ENTZIMATIKO ETA KOENTZIMAK

Katalisi entzimatikoa entzimaren gune aktiboan ematen da, erreakzioaren (transferentzia desberdinen) arduradun zuzenak gune honetako hainbat aminoazidoren albo-kateak direlarik.

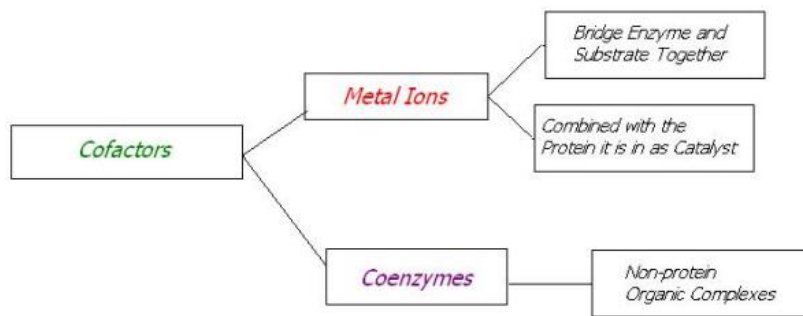
Kofaktoreak normalean gune aktibotik urrun lotzen dira, baina gutxi batzuetan gune aktiboan bertan ere lotu daitezke. Hauen batura beharrezkoa entzimak bere aktibitatea burutzeko.



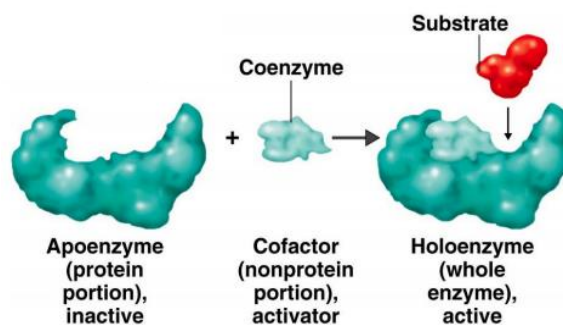
Izaera kimiko oso desberdina izan dezakete:

5. Molekula inorganikoak (ioi metalikoak)
6. Koentzimak: molekula organikoak ( $\text{NAD}^+$ ,  $\text{FAD}$ , A koentzima...)

Dozena bat koentzima desberdin eta ioi metaliko sorta handi bat ezagutzen dira.



Koentzimen beharra duten proteinak, koentzima falta zaienean apoentzima deritze. Kofaktoarekin lotzean aldiz, holoentzimak dira.



Lotura iraunkorra izan daiteke, hau da, kofaktoreak modu iraunkor batean lotu daitezke entzimara. Koentzimek lotura kobalenteak eratzean, kofaktoreei talde prostetiko deritze. Koentzima gehienak bitaminak dira. Hala ere, zenbait koentzima aske egon ohi dira.

KOFAKTOAREAK		
loi metalikoa	KOENTZIMA	
$Zn^{2+}$ $Se$ $Ni^{2+}$ $Mo$ $Mn^{2+}$ $Cu^{2+}$ $Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$ $K^{+}$ $Mg^{2+}$	<u>B1</u> <u>B2</u> <u>B5</u> <u>B6</u> <u>B8</u> (B12)	<u>B3</u> <u>B5</u> (B9) (C)
Lotura iraunkorra	↑	Askeak
Talde prostetiko (lotura kobalentea)		

**Koentzimen ezaugarri orokorrak:**

Ez dira proteinak, pisu txikiko molekulak dira. Koentzima bat hainbat entzimek erabil dezakete, ez dira espezifikoak. Espezifizitate entzimatikoa ez dago beraien baitan, aktibitate katalitikoa aldiz bai. Koentzima gehienak bitaminen eratorriak dira. Molekula-molekula moduan

elkarrekiten dute substratuarekin eta beti itzultzen dira hasierako egoerara. Termoeгонkorrak dira.

Table 13-2 B-Vitamins and Coenzyme Examples		
B-Vitamin	Coenzyme Example*	Abbreviation
Thiamin	Thiamin pyrophosphate	TPP
Riboflavin	Flavin adenine dinucleotide	FAD
	Flavin mononucleotide	FMN
Niacin	Nicotinamide adenine dinucleotide	NAD
	Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate	NADP
Pantothenic acid	Coenzyme A	CoA
Biotin	N-carboxylbiotinyl lysine	
Vitamin B-6	Pyridoxal phosphate	PLP
Folic acid	Tetrahydrofolic acid	THFA
Vitamin B-12	Methylcobalamin	

\*Some B-vitamins form more than 1 coenzyme.