

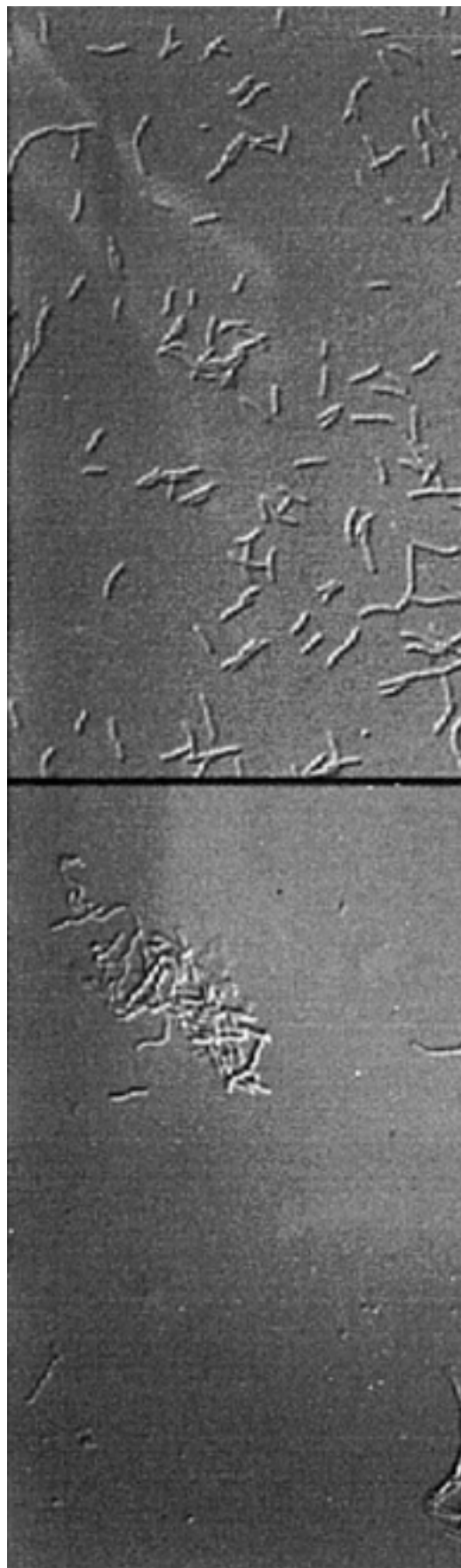
**S**akon ikertu diren organismo gehienak temperatura moderatuetara (15-40 °C-  
-ra) egokituak daude, eta gainera temperatura-muga estu hauetatik kanpo bizitzeko gaitasuna galdu egiten dute. Eukariotoen taldeko organismo gehienak (salbuespen berezi batzuk izan ezik) dira horrelakoak eta "mesofilo" izena dute. Badira lurrean temperatura handiko ingurune natural batzuk.

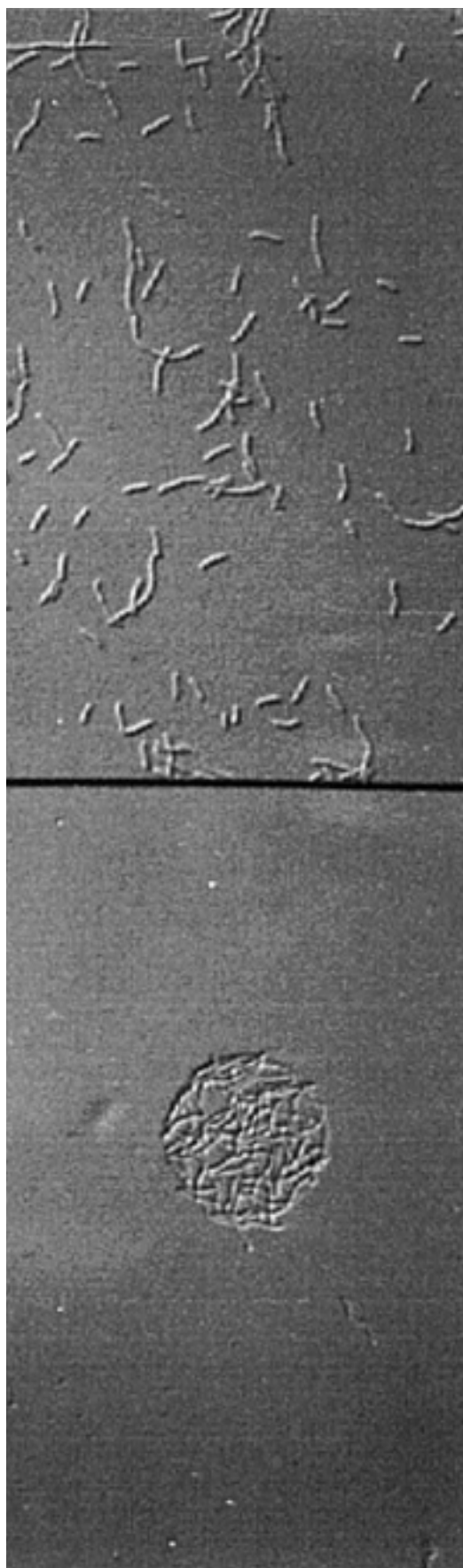
## Mikroorganismo termofiloak

Iñigo Lasa Uzkudun\*

Mikroorganismoen trebetasunik harrigarriena, izaki bizidun gehienek ez bezala pH, temperatura, gazitasun edo presio berezia duten inguruneetan bizitzeko ahalmena da. Hauetan guztietan temperatura da molekulen eta egitura biologikoen funtzionaltasunerako mugarik estuenak ezartzen dituenak.

Hauek giro honetan bizi eta gainera garatzeko temperatura handia behar duten organismo prokariotoen aukeraketa egin dute. Temperatura handikoen baitan ondokoak bereiz ditzakegu: mikroorganismo termofilo moderatuak (45-50 °C), muturreko termofiloak (65-90 °C) eta hipertermofiloak (bizitzeko 90 °C-tik gora behar dutenak). Arrazoi ezezagunak medio, bakterio hipertermofiloen taldea *Arkeobakterioz* bakarrik osaturik dago. Muturreko termofiloen taldean berriz, *Arkeobakterioez* gain *Eubakterioak* ere badaude. Mikroorganismo termofiloak aurkitu zirenean, galdera hau sortu zen: non dago bizitzaren temperaturarekiko muga? Thomas Brock-ek, mikroorganismo termofiloen aurkitzaileak, zelulak





*Thermus thermophilus* HB8 bakterioa. Marraren azpian bakterio-poltsak ikusten dira. Poltsa hauek azaleko proteina baten mutazioz sortzen dira. Mutazio hau injinerutza genetikoaren bidez lortu da laborategian.

sistema kimiko urtsuak izanik, bizitza ura likido-egoeran mantentzen deneko giroetara mugatuko litzatekeela zioen. Hala ere, itsaspean aurkitu dira 250 °C-ko habitatak, bizitzarik gabekoak, aurreko hipotesia zalantzan jarriz. Gaur egun 110 °C-tik gora ez dago bizitzaren arrastorik, eta 150-160 °C-tik gora molekula biologikoak egonkorak ez direnez, bizitzaren mugak aurkitutakoak baino handiagoak ez direla izango pentsa daiteke.

Ba ote dago mikroorganismo hauek hain temperatura handietan garatzeko arrazoi fisiologiko edo biokimikorik? Edo beste era batera esanda, zertan oinarritzen da mikroorganismo termofiloen termoeogonkortasuna? Hasieran mikroorganismoaren mintzak isola zezakeela pentsatzen zen, bere funtzio metaboliko guztiak mikro-

organismo mesofiloen temperatura berdintsuan eginez. Berehala baztertu zen teoria hori, mikroorganismoen sistema entzimatikoguztiak garatzen direneko temperatura berdintsuan funtziona dezaketela ikusita. Gero zitoplasman osagai zelularrak termoeogonkortzeko substantzia batzuk bazirela pentsatu zen. Gaur egun badakigu, mikroorganismo termofiloen zitoplasman termoeogonkortzaile ugari dela (poliamina, termina, espermidina, espermina), baina hala eta guztiz ere, termoeogonkortasunaren arrazoia osagai zelular bakoitzaren izaeran datza.

## Entzima termoeogonkorren aplikazio industrialak

Bioteknologikoki, mikroorganismo termofiloen ezaugarririk garrantzitsuena mikroorganismo mesofiloak baino askoz temperatura handiagoetan erreazio biokimikoak katalizatzen dituzten entzimak sortzea da. Entzima termoeogonkorren erabileraren industri mailako abantaila batzuk lehen taulan daude labur emanda. Hala eta guztiz ere, zenbait prozesutan substraturen batek egon-

Ezaugarriak	Abantailak
Termoeogonkortasuna	Klonatu ondoren purifikazio-prozesua errazten du. Iharduera entzimatikoa luzeagoa da.
Substantzia desnaturalizatuekiko iraunkortasuna	Disolbatzaile organikoak; purifikazio-prozesu gogorrak; pH desberdinak onartzen dituzte, erreazio-baldintzak zabalak izan daitezkeelarik.
Tenperatura egokiena altua	Iharduera txikia temperatura normalean. Ez du hozketarik behar. Temperaturaren gorakadarekin substratuen difusioa eta beste prozesu kimikoen abiadura azkartu egiten da.
Disolbagarritasuna	Tenperatura handiagotuz doan heinean substantzia ez-gaseosoaren disolbagarritasuna areagotu egiten da.
Biskositatea	Tenperatura handiagotu ahala txikiagotu egiten da, solutuen nahastea azkartuz.
Mikrobio-kutsadura	Mikroorganismo mesofiloen hazkundera oztopatu egiten da.

1. taula. Entzima termoeogonkorren erabileraren abantaila nagusiak industri mailan.



Ezaugarriak	Desabantailak
Termolabilitatea	Zenbait errektibo eta kofaktore deuseztatu egiten dira tenperatura handitan.
Gasen disolbagarritasuna	Murriztu egiten da, prozesu aerobikoak murriztuta daude.
Termoegonkortasuna	Entzimaren inaktibazioa galarazten du.
Materialaren estresa	Hartzidurako tresneria gehiago hondatzen da. Ez dago edozein material erabiltzerik tresneria hau egiteko.

2. taula. Prozesu industrialetarako entzima termoegonkorren erabilpenaren desegokitasun nagusiak.

kortasunik ez duelako ezin da horrelako entzimarik erabili. Arazo hau sarritan gertatzen da industria farmazeutikoan erreakzioen osagarri gehienak termosentikorrek direlako. Entzima termoegonkorren erabilpenaren desegokitasun nagusiak 2. taulan jasotzen dira.

Termofiliaren abantailak handiak izan arren, oraingoz gutxi ikertuta daude. Horregatik, prozesu industrial askotan entzima termofilo alternatiboak ezagutzen ez direlako, entzima mesofiloak erabiltzen dira. Hala eta guztiz ere, zenbait prozesutan entzima ter-

moegonkorrek erabiltzea ezinbestekoa da. Adibide batzuk 3. taulan agertzen dira.

*Thermus aquaticus*, mikroorganismo termofilotik sortutako DNA polimerasak (Taq polimerasak), PCR (Polimerase Chain Reaction) izeneko teknika garatzea posible egin du. Teknika honek biologia molekularren arloan izan duen garrantzia ezinbestekoa denez, bere sortzaile izan den Kary Mulliser-i 1993an medikuntzako Nobel saria ematea ez da harritzekoa. Teknika hau sortu den bezala, mikroorganismo termofiloak gehiago ezagutzen diren neurrian aplikazio berriak ere sortzen joango dira.



\* Nafarroako Unibertsitate Publikoko irakaslea.

Entzima	T (°C)	Aplikazioa	Jatorria
<b>Karbohidrolasak</b>			
α-amilasa	90-110	Almidoiaren hidrolisia	<i>Bacillus licheniformis</i>
pululanasa	50-60	Glukosatan aberats diren almidoen hidrolisiak	<i>Klebsiella aerogenes</i> , <i>Pyrococcus woesei</i>
xilosa isomerasa	50-55	Fruktosatan aberats diren almidoen hidrolisiak	<i>Actinoplanes missouriensis</i>
zelulasa	55-65	Zelulosaren hidrolisia, etanolaren ekoizpena, paper-orearen zuriketa	<i>Clostridium thermocellum</i>
<b>Proteasak</b>			
proteasa neutroak	40-60	Janarigintza	<i>Bacillus stearothermophilus</i>
proteasa basikoak	40-80	Detergenteak	<i>Bacillus licheniformis</i>
<b>Biologia molekularra</b>			
Taq polimerasa	45-95	DNAREN anplifikazioa PCRren bidez	<i>Thermus aquaticus</i>
Tth polimerasa	45-95	Retrotranskripzio alderantzizkoa RNAtik DNARA	<i>Thermus thermophilus</i>
RNA polimerasa	65-75	RNAren sintesia	<i>Thermus</i>
TaqI, TthIII, errestrikzio-endonukleasak	65-75	Errestrikzio-entzimak	<i>Thermus aquaticus</i> , <i>Thermus thermophilus</i>
<b>Substantzia berezien sintesia</b>			
Bitaminak		Koloratzaileak, elikadura	<i>Thermus aquaticus</i>
Aminoazidoak		Aminoazidoen sintesia, analisisa	<i>Bacillus stearothermophilus</i>
Antibiotikoak		Bereziki Gram positibo bakterioaren aurka	<i>Thermoactinomyces</i>
<b>Ur-hondakinen tratamendu anaerobikoa</b>			
	60-65	Substantzia organikoen ezabapena	Bakterio metanogenoak <i>Metanobacterium</i> <i>Metanosarcina</i>

3. taula. Entzima eta mikroorganismo termofiloen aplikazio industrial garrantzitsuenak.