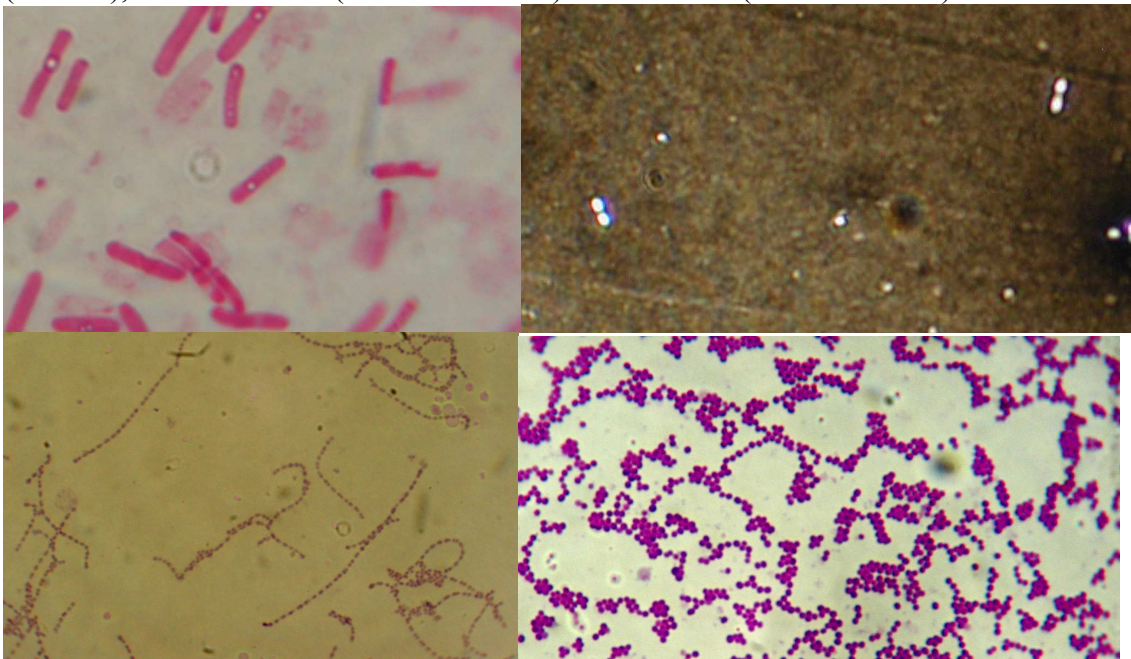


1. Bakterio patogenoen egitura.

Bakterioen itxura eta taldekatze tipikoak.

Bakterio patogeno guztiak eubakterioak dira, beraz **prokarioto zelulabakarrak**. Bakterioen tamaina mikra baten ingurukoa da. *Bacillus anthracis* bakterio handiena da (1-1,3 X 3-10 mikra) eta *Mycoplasma* generoko bakterioak txikienak dira (0,1 X 0,2 mikra). Bakterioak itxura desberdinetakoak izan daitezke (1.1.irudia). Esferikoak direnak **kokoak** deitzen dira, luzangak direnak **baziloak**, koma itxurakoak **bibrioak** eta espiralak direnak **espiriloak**. Bakterio batzuk, aktinomizetoak alegia, **hari-formakoak** dira, hau da, filamentu luzeak adarrak dituztenak

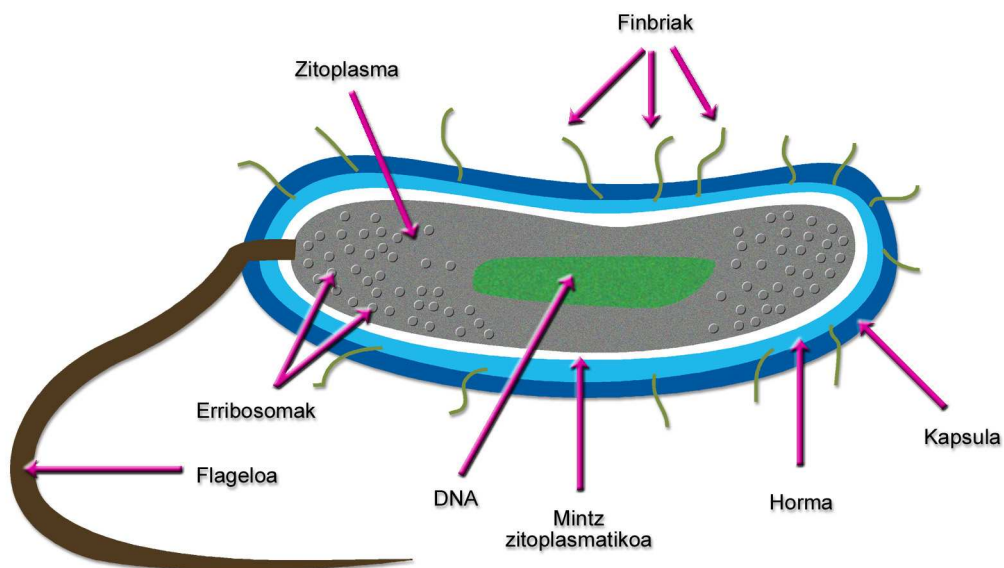
Nahiz eta zelulabakarrak izan, zatitu ondoren elkarrekin lotuta geratzen dira batzuetan, **taldekatze adierazgarriak** osatuz: diplokokoak (bikoteka daudenetan), estreptokokoak (ilaretan), estafilokokoak (koko mordoetan) edo sarzinak (kubo-formatan).



1.1.irudia: Itxura desberdinetako bakterioak: a) baziloak; b) diplokokoak; c) estreptokokoak eta d) estafilokokoak.

Zelula prokariotoaren egiturak

Zelula prokariotoaren antolamendua oso sinplea da, eukariotoen aldean (1.2.irudia). Prokariotoen **genoma** DNA molekula biribil bakarra da (bakterioen kromosoma) eta **ez dago mintz nuklearrik**. Kromosomatik aparte **plasmido** deituriko DNA molekula txiki batzuk aurkitzen dira bakterioen hainbat aleetan. **Zitoplasman** genoma eta erribosomak baino ez dira ikusten, mintzez inguraturiko organulorik ez dagoelako. **Mintz zitoplasmatikoaren** gainera **horma zelularra** dago. Horma ezinbesteko egitura da eta *Mycoplasma* espezieetan izan ezik beste bakterio guztietan dago. Beste azaleko egitura batzuk, **kapsulak**, **flageloak** eta **finbriak** aldiz ez dira bakterio guztietan agertzen.



1.2.irudia: Bakterio baten egitura.

Genoma: kromosoma eta plasmidoak

Bakterioarentzat **beharrezkoa den informazio** genetiko guztia **kromosoma** bakar batean dago. Kromosoma hori DNA molekula biribil erraldoi bat da, lineala balitz milimetro bat neurtuko lukeena; beraz, estu biribilkatu eta bilduta egon beharko du 1-2 mikrako diametroa duen bakterioaren zitoplasman egoteko. Dena den, kromosoma prokariotoan ez daude eukariotoenetan dauden proteina basikoak edo histonak, baina beste proteina batzuek (poliaminek) eta magnesioak betetzen dute histonen funtzioa. Ez dago mitosirik, eta huso akromatikorik ere ez, baina bakterioaren kromosoma **erreplikazio erdi-kontserbatiboa** burutzeko, mintz zitoplasmatikoa atxikitzen da, eta mintza bera, edo akaso mintzaren **mesosoma**, bi zelula kumeetan **kromosomaren kopiak banatzeaz arduratzen da**. Bizitzeko beharrezkoak ez diren geneak kromosoman edo plasmidoetan egon daitezke. **Plasmidoak** DNA molekula biribil txikiak dira, eta kromosomarekiko **erreplikazio independientea** dutenez, bakterioa erdibitzean gal daitezke. Bestalde, plasmidoen informazioa, mekanismo genetiko desberdin batzuen bidez, **bakterio batetik bestera joaten da**, nahiz eta espezie desberdinetakoak izan. Kromosoman edo plasmidoetan egon daitezke adhesinak, toxinak, antibiotikoekiko erresistentziak eta, oro har, bakterio patogenoen birulentzia faktoreak kodetzen dituzten geneak.

Zitoplasma

Genoma ez ezik bakterioen zitoplasman erribosomak eta erreserbako inklusioak ere badaude. **Erribosomak**, informazio genetikoaren proteinen lenguaian itzultzeaz arduratzen diren erribonukleoproteinen partikulak dira. Bakterioen erribosomak **ez daude erretikulo endoplasmiko** bezalako mintzetan erantsita, eta eukariotoenak baino txikiagoak dira: **70S motakoak, 30S eta 50S azpi unitatez osaturik**.

Bakterio espezie batzuetan hainbat **elikagai-erreserbako inklusio** bereizten dira zitoplasman: karbono eta energia gordetzeko glikanozko granuloak, polimetafosfatao, eta, polibetahidroxibutiratozko inklusioak (koipe-erreserbak). Zitoplasman bakterioen

berezko proteinen sintesia eta **erreakzio degradatibo eta biosintetiko guztiak** gertatzen dira.

Mintz zitoplasmatikoa

Bakterioen mintz zitoplasmatikoa, eukariotoen mintzak bezalakoa da: tartean proteinak dituen fosfolipidozko geruza bikoitza., baina, *Mycoplasma* espezieetakoak izan ezik, bakterioen mintz zitoplasmatikoek **ez dute esterolik**. Esterolak aldiz, beti daude zelula eukariotoen mintzetan. Mintz zitoplasmatikoaren betebeharrak nagusia **garraioa** da: elikagaiak eta beste substantziak ingurutik zitoplasmara eta hondakinak, exoenzimak eta beste produktuak zitoplasmatik kanpora eramatea. Ura eta kargarik gabeko molekula txikiak (<100 dalton) besterik gabe pasatzen dira, baina molekula handiagoak edo karga elektrikoak dituztenak pasarazteko garraio-proteina espezifikoak daude mintzean (1.1.taula).

Ezaugarria	Difusio pasiboa	Difusio erraztua	Elkartzeko proteinek bideratutako garraioa	Taldean lekualdaketa
Garraio-proteina egotea	-	+	+	+
Kontzentrazio gradientaren kontragertatzea	-	-	+	+
Espezifikitatea	-	+	+	+
Energia kontsumitzeko beharra	-	-	+	+
Garraiatutako substantziaren aldaketa	-	-	-	+

1.1. taula: Bakterioen mintz zitoplasmatikoaren zeharkako garraio sistemak.

Bestalde, zitoplasman mintzez inguraturiko organulorik ez dagoenez, **mintz zitoplasmatikoaren menpekoak** dira arnasketa aerobikoa, elektroien garraioa, fosforilazio oxidatiboa eta energia eskuratzeko beste **prozesu batzuk**. Gainera, mintzak inguruarekin erlazionatzeko balio du eta kanpoko substantzien kontzentrazioa somatzeko **proteinak** ditu. Bakterioen fisio binarioan mintzak **kromosomaren kopien banantzea** bideratzen du.

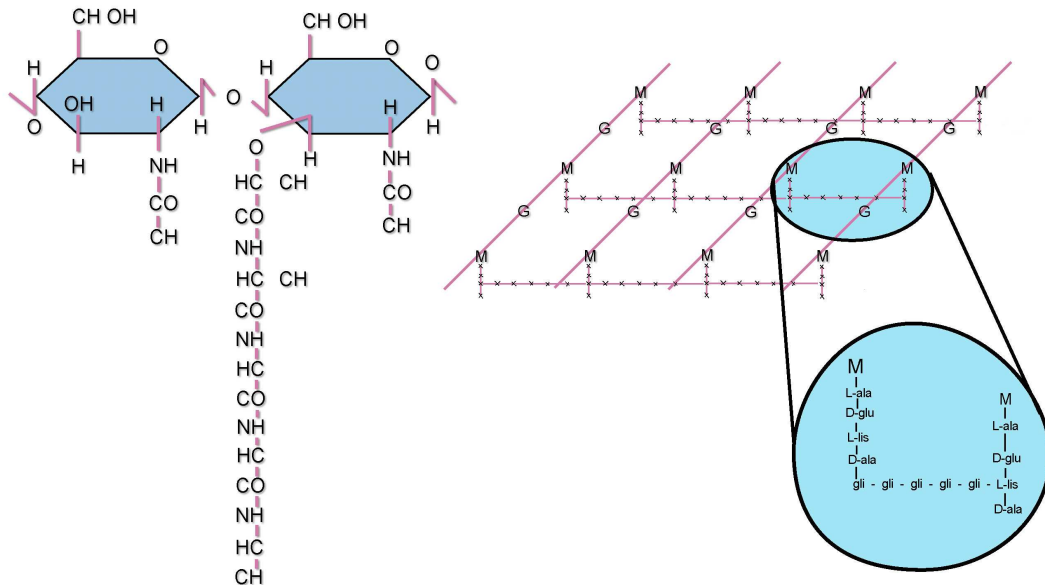
Hormak

Prokarioto guztiak horma zelularra dute, presio osmotikoak barruko protoplastoa ez apurtzeko **ezinbestekoa** delako¹. Bakterio gehienak ekosistema diluituetan bizi dira, eta zitoplasma barruan gorde behar dituzten kontzentrazioek presio osmotiko handia eragiten dute (10-25 atm artekoak). Mintz zitoplasmatikoa malgua eta apurkorra da, baina hormaren osagai nagusia, **peptidoglikanoa** edo mureina, **izugarri erresistentea** den polimeroa da. Peptidoglikanoa bakterioen artean aurkitzen da soilik, eta horregatik bakterioen aurkako botika onenak peptidoglikanon eragiten duten substantziak dira, bakterio hazkundea galarazten dutelako zelula eukariotoei kaltetu gabe.

Peptidoglikanoa

Peptidoglikanoa **sare** formako molekula erraldoi bat da, **n-azetilglukosaminazko eta n-azetilmuramikozko polimeroak, lau aminoazidozko peptidoekin elkarri lotuta** (1.3. irudia). Tetrepeptidoak L-alanina, D-glutamiko, D-diaminopimeliko eta D-alanina aminoazidoak ditu. Bakterio gram-positibo batzuetan hirugarren aminoazidoa aldatzen da. Azido muramikoa eta D-glutamikoa, D-alanina eta diaminopimelikoa bakterioetan









soilik dauden molekula dira. Noizbehinka **tetrapeptidoak elkarrekin lotzen dira bost glizinazko kateen bidez**. Peptidoglikanoaren osagaiak zitoplasman sintetizatu ondoren, mintzetik beste aldean muntatzen dira, transglukosilasak, transpeptidasak eta karboxipeptidasen bidez. Penizilina eta beste antibiotiko betalaktamikoek transpeptidasak eta karboxipeptidasak blokeatzen dituzte, hormaren hazkundera geldiarazteko.



1.3.irudia: Peptidoglikanoaren unitatea (ezkerrean): n-azetilglukosamina beta 1,4 n-azetilmuramiko dimeroa tetrapeptidoarekin; Peptidoglikanozko sarea, zeharkako pentaglinaz bi tetrapeptidoak elkartuz (eskuinean).

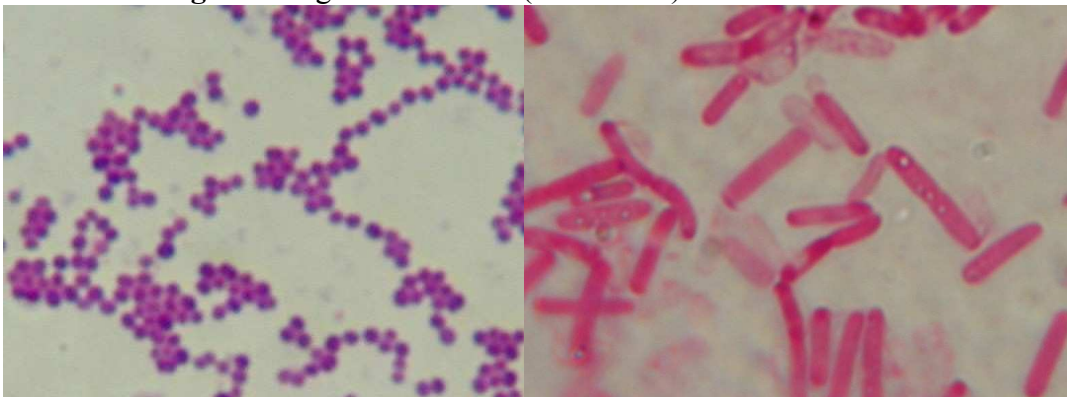
Gram tindaketa

Gram tindaketa **bakterioak sailkatzeko tindatze-prozedura bereizgarrikerabiliena** da. Gram tindaketaren **oinarria bakterioen hormaren egiturarekin lotuta** dago, bereziki peptidoglikanoaren edukiarekin. Tindatze-prozedura hau da: 1) bakterioak gentianako bioletarekin tindatzen dira, 2) lugol-soluzioarekin, bioleta finkatzen da peptidoglikanoan, 3) alkohol-azetona nahastearekin bakterioak destindatzen dira eta 4) bukatzeko, safraninarekin berriro tindatzen dira (1.4.irudia).

Tindatze-prozesuaren urratsak		Bakterio gram-positiboak	Bakterio gram-negatiboa
1.-	Bioletaz tindaketa		
2.-	Lugolaz finkapena		
3.-	Alkohola - azetonaz koloregabetze-prozesua		
4.-	Safraninaz tindaketa		

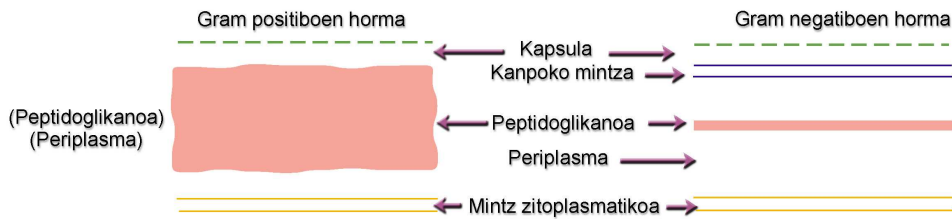
1.4.irudia: Gram tindaketaren urratsak eta bakoitzaren eragina bakterio gram-positibo eta gram-negatiboetan.

Horma zelularraren egituraren arabera bakterioak bi taldetan bereizten **dira gram-positiboak**, tindatu ostean **bioletaz** tindaturik agertzen direnak, eta **gram-negatiboak**, tindatu ostean **gorriak** agertzen direnak (1.5.irudiak).



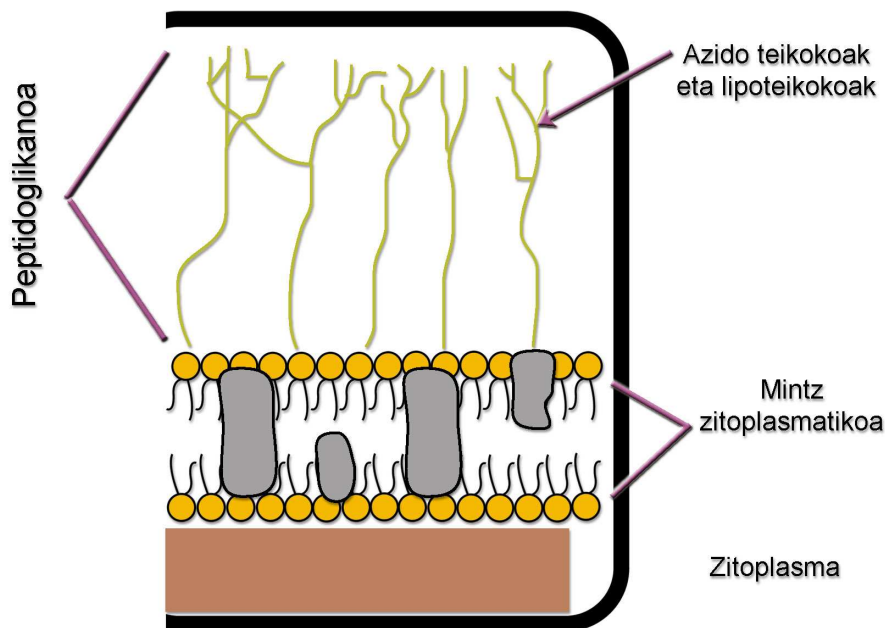
1.5.irudia: Koko gram-positiboak (ezkerrean) eta bazilo gram-negatiboak (eskuinean).

Gram-positiboen peptidoglikanozko sarea askotariko xafla da eta oso lodia; gram-negatiboena aldiz fina eta xafla bakarrekoa da (1.6.irudia).



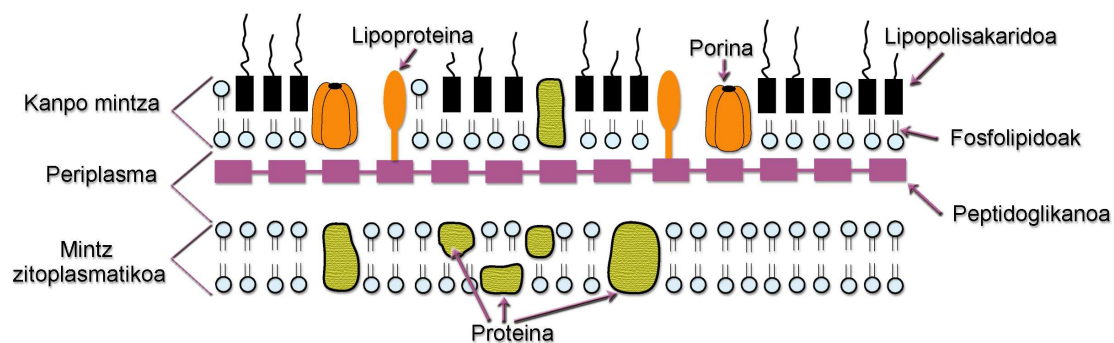
1.6.irudia: Horma gram-positiboaren eta horma gram-negatiboaren arteko desberdintasunak.

Gram-positiboen hormak, peptidoglikanoaz gain, **azido teikoiko eta lipoteikoak** ditu, glizerol edo erribitol alkoholen polimeroak direnak (1.7.irudia). Azido hauek peptidoglikanoan edo mintz zitoplasmatikoa ainguratuta daude eta antigeno garrantzitsuak dira. Bakterio azidoekiko eta alkoholekiko erresistenteak, mikobakterioak bezala, gram-positiboak dira, baina ez dira Gram tindaketarekin ondo tindatzen, lipido asko dituztelako horman, besteak beste azido mikolikoak.



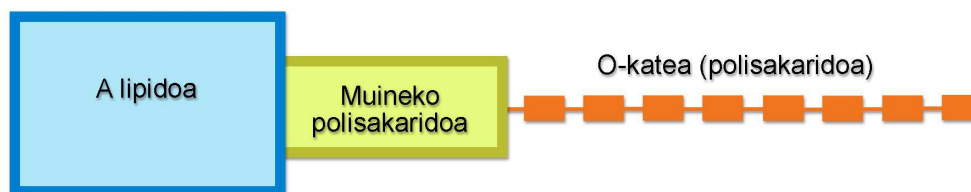
1.7.irudia: Bakterio gram-positiboaren hormaren egitura.

Gram-negatiboaren hormak, peptidoglikano gainera beste mintza du (1.8. irudia) eta horregatik hiru xaflako horma (mintz zitoplasmatikoa, peptidoglikanoa eta **kanpoko mintza**) ikusten da mikroskopio elektronikoa erabiliz.



1.8.irudia: Bakterio gram-negatiboen hormaren egitura.

Kanpo mintzaren barruranzko lipidoak fosfolipido arruntak dira, baina kanporantz daudenak **lipopolisakaridozko molekulak** dira (1.9.irudia). Lipopolisakaridoaren alde lipidikoa, **A lipidoa**, toxikoa da animaliei txertatuta, eta gram-negatiboen patogenizitate faktore garrantzitsu bat da, endotoxina hain zuzen ere. Alde gluzidikoaren erdigunean dagoen oligosakarido aldaezin bati lotuta, antigenikoak diren **O kate polisakarido** luzeak daude. Kate hauen azukreen izaera eta ordenaren arabera O seroaldaera desberdinak bereizten dira espezie gram-negatibo bakoitzaren barruan.



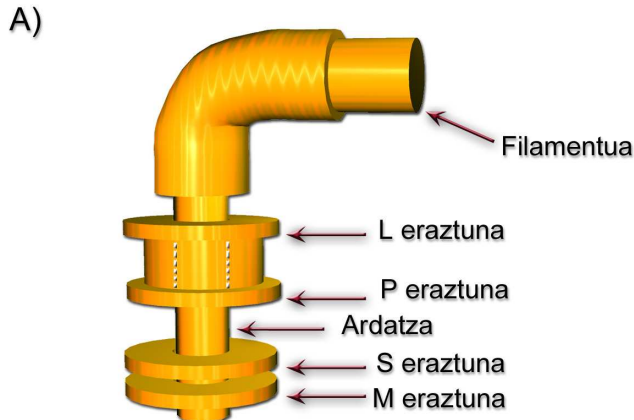
1.9.irudia: Lipopolisakarido molekularren egitura: A lipidoa eta O kateak elkartzen dira 2-keto-3 deoxioktoniko (KDO), heptosa, etanolamina, N-azetilglukosamina, glukosaz eta galaktosaz osatutako oligosakarido baten bidez.

Kanpo mintzeko proteina batzuek, **porinek**, mintz osoa zeharkatzen dute poroak eratuz substantzia hidrofiliakoak handik pasartzeko. Mintza zeharkatzen duten beste proteina batzuek kanpo mintza peptidoglikanoan ainguratzeko balio dute (Braun-aren lipoproteinak). Mintz zitoplasmatikoen eta kanpo mintzen arteko gunea periplasma edo **gune periplasmikoa** deitzen da; eta hor peptidoglikano xafla eta metabolismoko hainbat entzima periplasmiko daude.

Beraz, bakterio gram-negatiboek, gram-positiboek ez duten iragazkortasun selektiboa duen beste mintz bat dute, kanpo mintza alegia, eta horregatik **erresistenteagoak dira** desinfektzio eta substantzia litikoekiko. Horretaz baliatuz, laborategian gram-negatiboak isolatu eta hazteko inguru hautakorrak diseinatu dira. Antibiotiko betalaktamikoekin bakterio gram-negatiboak inhibitzeko, gram-positiboak inhibitzeko baino kontzentrazio handiagoa behar da, peptidoglikanoa kanpo mintzapean babesturik dagoelako eta periplasman dauden entzima batzuek, betalaktamasek, peptidoglikanora heldu baino lehen antibiotiko molekula asko desegiten dutelako.

Flageloak

Flagelo prokariotoak zelularen proteinazko luzakin handiak dira eta inguru likidoetan **igeri egiteko** balio dute. Flagelo baten diametroa 0,012-0,03 mikra tartekoa da eta luzera 3-12 mikra tartekoa. Hiru aldetan banatzen dira (1.10.irudia). Oinarrizko gorputza mintz zitoplasmatikoa ainguratuta dago eta, energia xahutuz, mugimendua sortzen du; kakoak zelularen azala zeharkatzen du eta filamentua aske geratzen da (espiroketen endoflageloen kasuan filamentua mintz zitoplasmatikoa eta kanpo mintzaren artean gordeta dago).

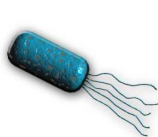


1.10.irudia: Flagelo prokariotoaren egitura.

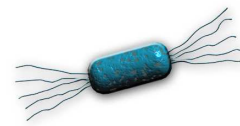
Flageloen kopurua eta kokapena datu baliagarriak izan daitezke espezieak identifikatzeko (1.11.irudiak).



Flagelo peritrikoak



Flagelo polarrak



1.11.irudia: Flageloen banapen motak.

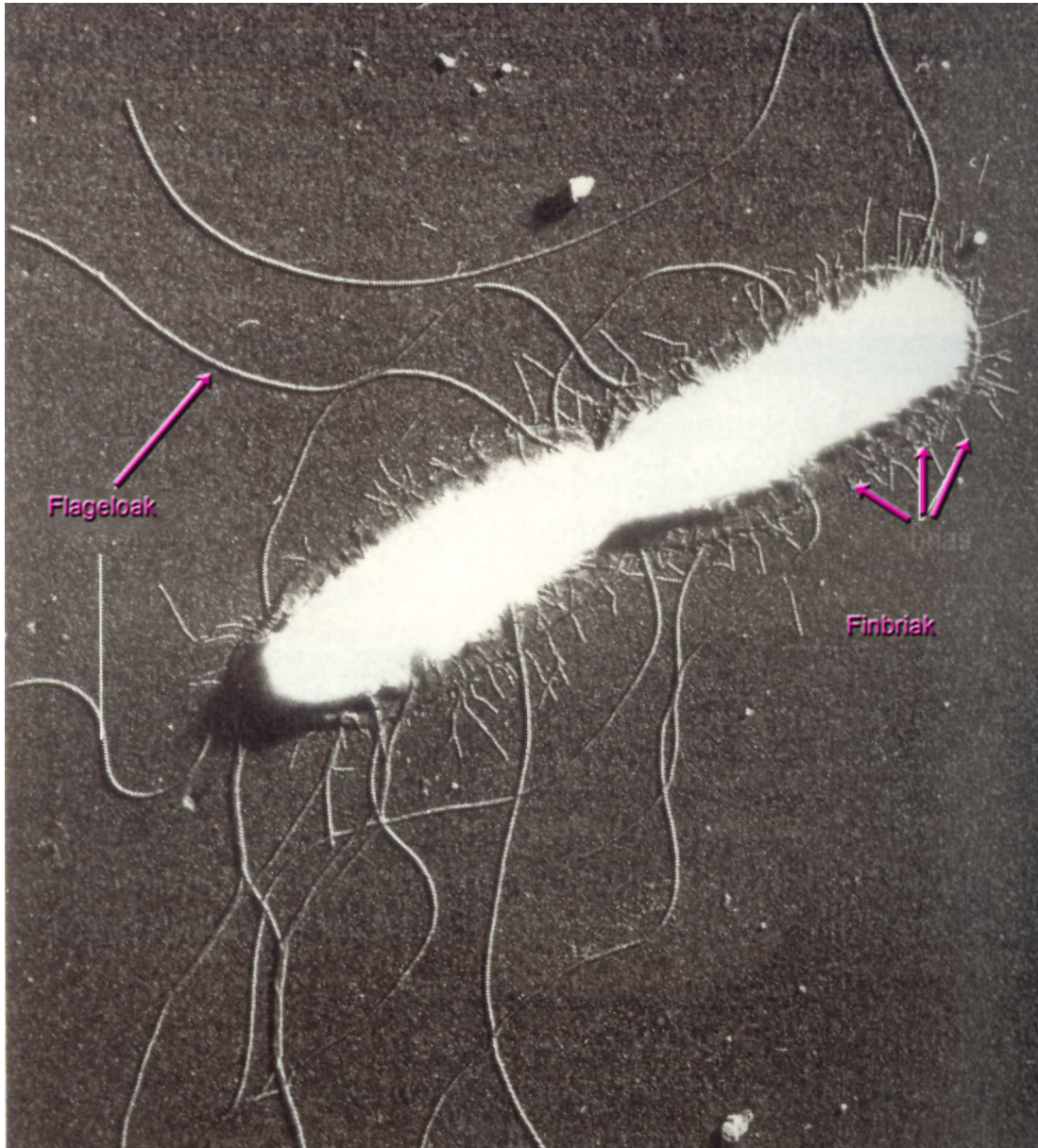
Flageloen proteinak (flagelinak) immunogenoak dira (**H antigenoak**). H antigenoaren aldaerek espezie baten anduiak bereizteko balio dute.

Bakterio gram-positibo gehienak ekosistema finko batean geratzeko egokitu dira eta normalean ez dute flagelarik. Espezie gram-negatibo askori, aldiz, flageloen bidez lortutako mugikortasunak hainbat inguru kolonizatzeko gaitasuna ematen dio. Bakterioen mugimendua ez da noraezean egiten. Inguruko oxigenoaren, elikagaien edo substantzia toxikoen kontzentrazioak sentitzeko sistemak dituzte, eta flageloen laguntzaz faktore batzuetara hurbildu eta besteetatik ihes egiten dute. Gizakia infektatzen dutenean ere flageloen bidez lortutako mugimendu aktiboa abantaila izan daiteke; *Helicobacter pylori*-k adibidez, arin-arin igeri egiten du urdaileko mukosa zeharkatzeko.

Finbriak

Finbriak edo pili, flageloak baino finagoak diren bakterio batzuen luzakin proteikoak dira (1.12.irudia). Bakterio gram-negatibo gehienetan eta baita gram-positibo batzuetan

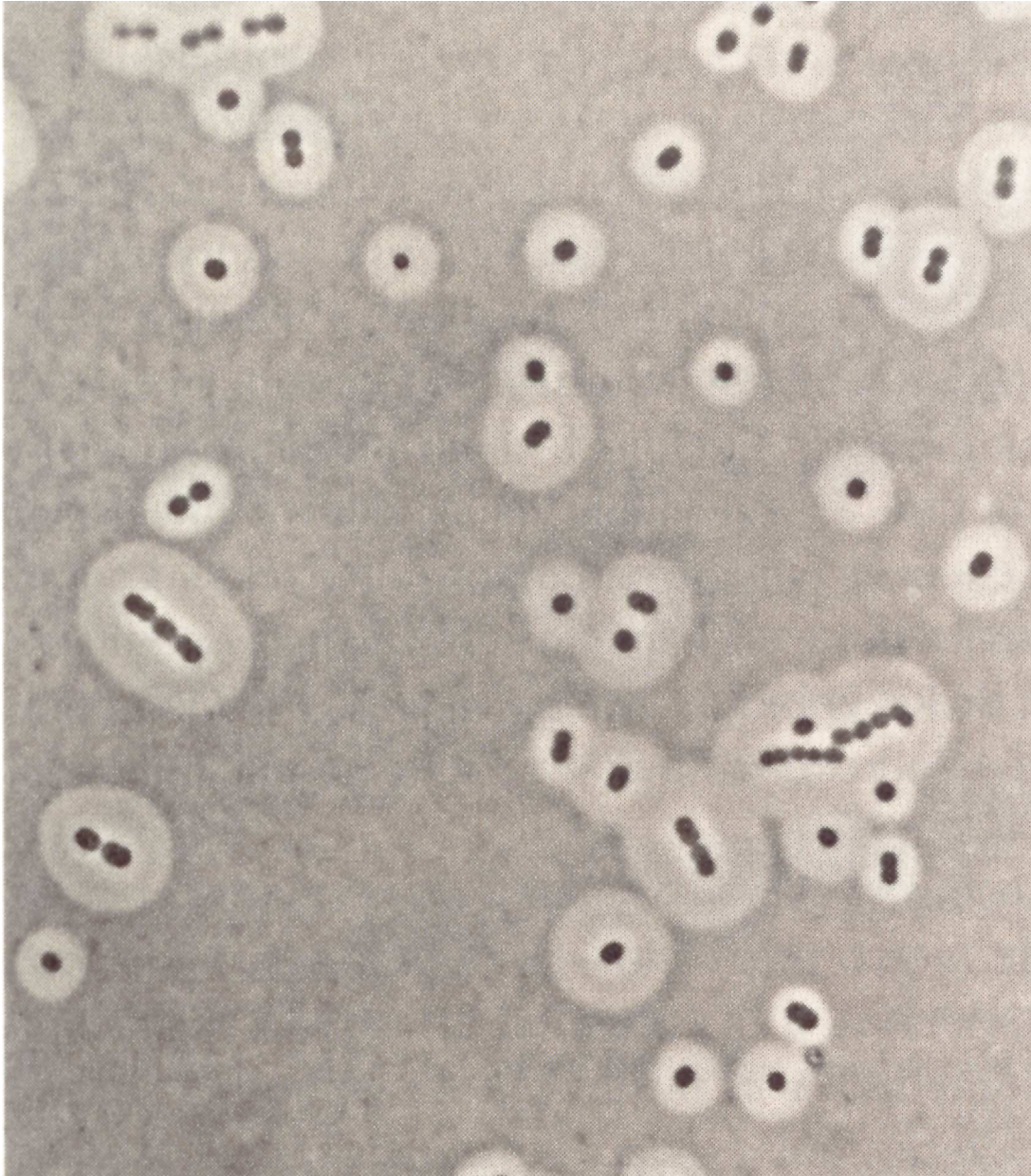
ere aurkitzen dira. Pili mota batzuk, **pili sexualak**, oso luzeak dira eta zelula bakoitzean gutxi daude (1-4 artean). Azken hauek, bakterio emaile batetik bakterio hartzaile batera, plasmidoak -eta oro har informazio genetikoa- transmititzeko balio dute. Beste finbria mota batzuk, *Pseudomonas*-enak edo *Neisseria*-renak adibidez, gainazal hezeetatik narrazteko balio dute², baina bakterio patogeno gehienentzat pili edo **finbria arruntek** ostalariaren zeluletako errezeptore espezifikoetan atxikitze balio dute; beraz, **adhesinak** dira. Espeziearen arabera finbria arruntaren kopurua 10 eta 200 artean dago, pili sexualak baino laburragoak dira eta muturretan soilik edo zelula inguru osoetatik banatuta daude. Edozein kasutan finbriak birulentziarekin zerikusi handia duten egiturak izan ohi dira.



1.12.irudia: Pili arruntak (laburrak) eta pili sexualak, arruntak baino luzeagoak eta malguagoak direnak.

Kapsulak

Bakterio gram-positibo eta gram-negatibo batzuek horma zelularren **gaintik geruza polisakarido lodiak** dituzte kapsulak deitzen direnak (1.13. irudia).



1.13. irudia: *Streptococcus pneumoniae*-ren kapsulak.

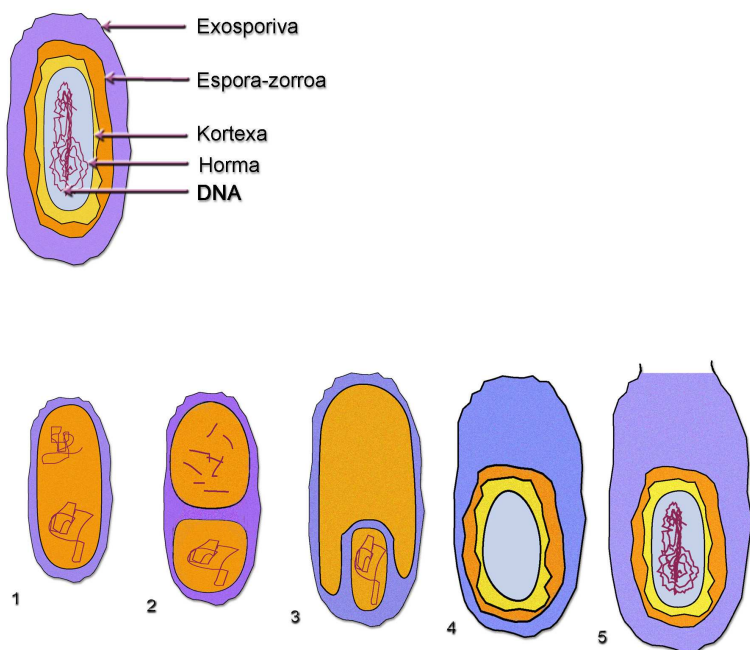
Beste batzuek, *Pseudomonas aeruginosa*-k edo *Streptococcus mutans*-ek adibidez, ez dute bakterio banakako kapsula zehatza, baina “slime” edo limoa deituriko azaltxo polisakarido amorfo eta mukitsu batekin inguratuta daude. Kapsulak ez dira beharrezkoak bizitzeko, eta askotan, bakterio kapsuladunak, inguru artifizialeetan hazten direnean, ez dute kapsularik sintetizatzen.

Ekosistema naturaletan espezie batzuek kapsulak erabiltzen dituzte elikagai-erreserba moduan. Beste espezie batzuentzat kapsulek protozooengandik, edo animaliek eta landareek ekoiztutako substantzia antibiotikoengandik, babesteko balio dute. Lurreko bakterio batzuek hezetasuna gordetzeko erabiltzen dituzte. Pelikula mukitsuak gainalde batean eransteko baliagarriak dira, eta behin atxikiz gero, bakterioak pelikulan ugaritzen dira mikrokoloniak eratuz. Horrela **biogeruzak** sortzen dira, espezie batzuentzat bizileku aberats eta babestuak direnak. Gure hortzetako plaka bakterianoa da biopelikulen adibiderik argiena. *S.mutans* bakterioak, dietako azukreak erabiliz, glukanozko pelikula bat sortzen du enamelan eransteko. Ondoren, ahotiko beste

bakterioak *S.mutans*-en kolonietan eransten dira, plaka osatu arte. Bai kapsulak eta bai azaltxo mukitsuak, birulentzia faktore garrantzitsuak dira bakterio patogenoentzat, ostalariaren ehunak inbaditzeko eta **fagozitosia** eta beste mekanismo immuneak **ekiditeko** balio dutelako. *S.pneumoniae* adibidez, kapsula galdu ondoren pneumonia sortzeko ezgai bihurtzen da. Kapsula eta azaltxo mukitsu batzuk ostalariaren ehunetan atxikitzeko, hau da, adhesinak bezala erabiltzen dira. Kapsulako polisakaridoak immunogenoak dira eta **K antigeno** izenarekin ezagutzen dira. Hainbat kasutan txertoak eratzeko erabili ahal dira, adibidez *N.meningitidis*, *H.influenzae* eta *S.pneumoniae* kapsulako polisakaridok .

Endospora

Bakterio batzuen zitoplasman ikusten diren egitura biribilak endosporak dira. Endosporak **latentzia-formak** dira. Zelula kriptobiotiko hauek ez dute metabolismo aktiborik, baina, geruza askoz babesturik, bakterioaren informazio genetiko eta erribosomak gordetzen dituzte. Dirudenez, inguruko elikagaiak hazkunde begetatiborako urriak direnean, bakterioak fisio binarioaren ordean **endoesporulazioa** egiten du (1.14.irudia). Prozesu honetan zatitzen ari den zelula kume baten mintzak endospora izango dena inguratzen du, eta ondoren bi mintzen artean geruza batzuk eratzen dira: horma, kortexa, geruza eta exosporiuma. Bestalde, endosporaren zitoplasma kondensatzen da metabolismo begetatiboa etenarazten. Endoesporulazioa burutu ondoren zelula begetatiboa apurtzen da barruko endospora askatzeko. Endosporak lurlean egongo dira urte asko, latentzia egoeran, baina bideragarriak, beroarekiko eta eguzki izpiekiko izugarriko erresistentzia dutelako (uretan ordu bat irakiten egon arren bideragarriak izan daitezke). Inguruko hezetasuna, janaria eta beste kondizioak egokiak direnean endosporak bakterio begetatibo bihurtzen dira. Zelula begetatibo batek endospora bakar bat era dezake; beraz, endoesporulazioa bakterioentzat **erresistentzia mekanismo** bat da, eta ez ugaltzeko beste modu bat.



1.14. irudia: Endoesporulazio prozesua (behean) eta endosporaren egitura (goian).

Endosporak zelula begetatiboaren erdian edo mutur batean ager daitezke espeziearen arabera. Endosporak sortzea eta endosporen kokapena bakterioak identifikatzeko datu baliagarriak dira (1.15.irudiak).



1.15. irudia: Bakterioen endosporak zelula begetatiboaren mutur batean ala erdian kokatzen dira.

Bakterio patogenoen artean soilik *Bacillus* eta *Clostridium* espezieetako baziloek sor ditzakete endosporak.

