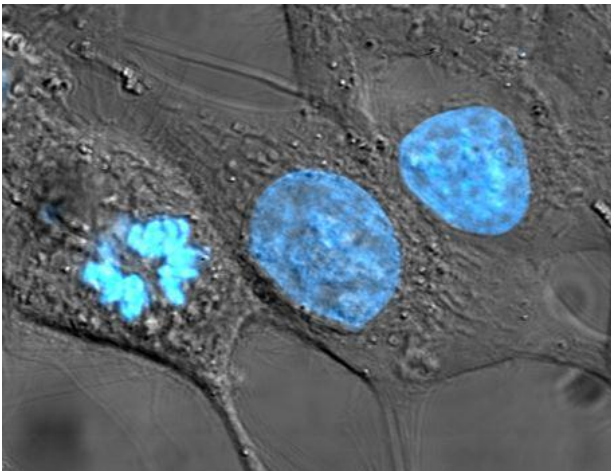


2

ZELULA EUKARIOTOAK



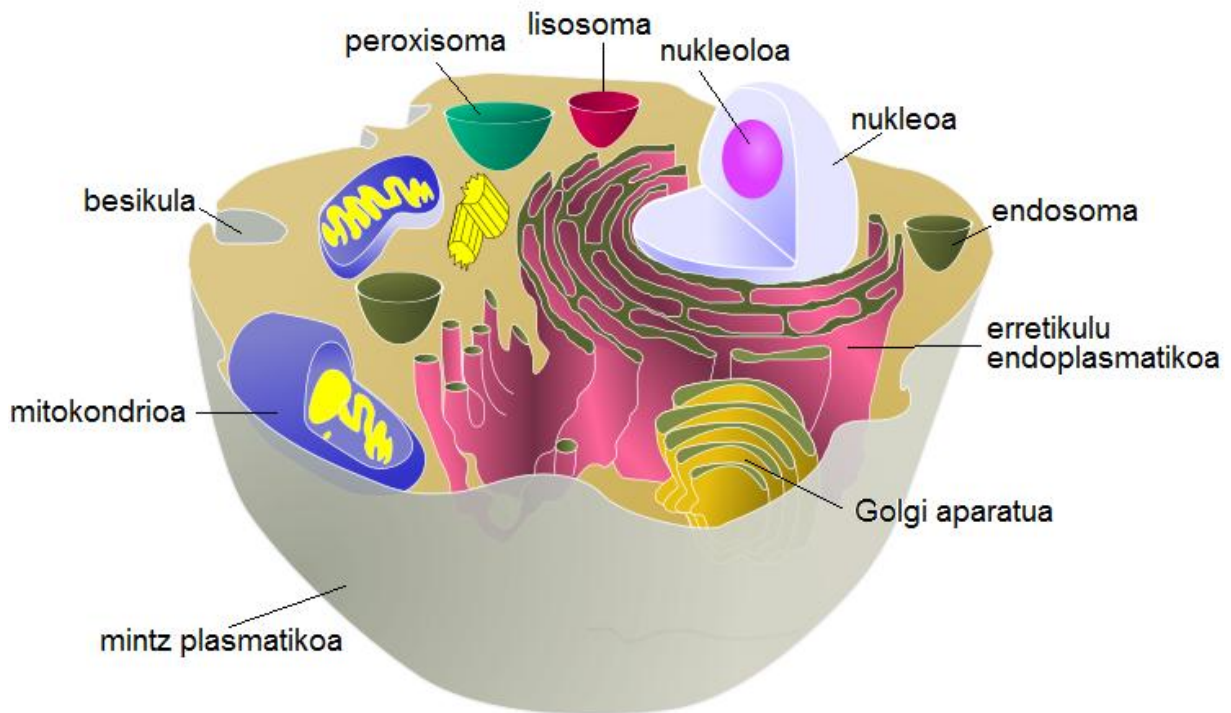
Zelula eukariotoaren nukleoa, gai genetikoa gordetzen duen barrunbea, tindagai fluoreszente batez tindatua (iturria; Wikipedia).

Zelula hitza entzuten dugunean gogora ekartzen zaigun lehenengo irudia hau da: mintz batez mugaturiko konpartimentu bat, non erreakzio biokimikoak gertatzen diren. Irudi horrek, ordea, ez du islatzen zelula eukariotoen izaera: zelula eukariotoak izugarritzko konplexutasuna duten sistemak dira, eta oso konpartimentazio maila altua dute. Konplexutasun horri lotuta, genoma eukariotikoan gordetzen den informazio kopurua askoz altuagoa izaten da. Horrek guztiak ahalbidetzen du funtzio zelular berriak garatzea, eta, azken batean, gaur egun existitzen diren goi-mailako izakiak agertzea.

Zelula eukariotoaren bi barrunbe nagusiak: nukleoa eta zitoplasma

Zelula eukarioto gehienak mikroskopikoak badira ere, prokariotoak baino askoz handiagoak dira: hamar aldiz handiagoak luzeran, eta gutxienez mila aldiz handiagoak bolumenari dagokionez. Badirudi tamaina maximoa elikagaien eta oxigenoaren difusio-tasak mugatzen duela. Tamaina handia izateaz gain, osagai kopurua ere oso altua da: zelula eukarioto batean 10.000-20.000 proteina egon daitezke, eta proteinen kopuru osoa 10.000 milioi ingurukoa izan daiteke.

Egiturari dagokionez, zelula eukarioto guztietan bi konpartimentu bereizten dira: **nukleoa** eta **zitoplasma** (2-1 irudia). Zitoplasma nukleoa baino handiagoa izaten da gehienetan, eta oso ondo antolatuta dago: hainbat organulu eta egitura ezberdin ditu, eta prozesu anitz gertatzen dira. Organulu zitoplasmakoak mintz batez mugaturiko barrunbeak dira, bakoitza bere osagai eta funtzio espezifikoekin: zelula lantegi bat izango balitz, organuluak eginkizun konkretu batez arduratzen diren sailak izango lirateke. Animalia-zelularen bolumenaren % 50, batez beste, organulu zitoplasmakoek okupatzen dute, eta haien mintzen azalera mintz plasmatikoa baino 20 aldiz handiagoa izan daiteke.

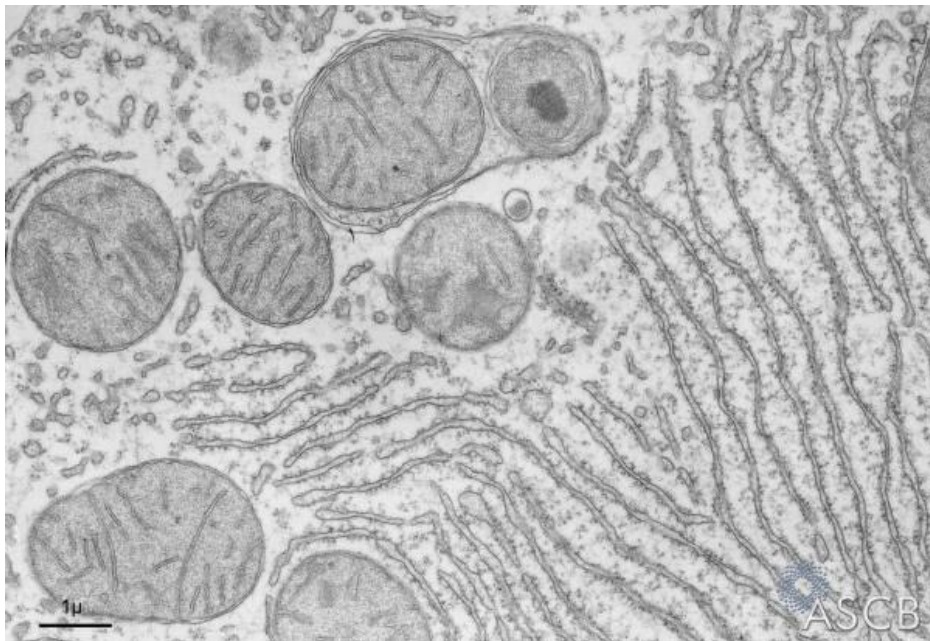


2-1 irudia. Animalia-zelula eukariotoaren antolamendua (iturria: Wikipedia).

Organulu zitoplasmatiko bakoitza eginkizun espezifiko batez arduratzen da

Organulu bakoitzaren ezaugarriak (kopurua, tamaina, kokapena) eta han gertatzen diren erreakzioak zelula motaren arabera alda daitezke; hala ere, organuluaren oinarriko funtzioa bera da zelula guztietan.

Erretikulu endoplasmatikoa sare konplexu bat da, hodiz eta sakuluz osatua (2-1 eta 2-2 irudiak). Labirinto-itxura duen organulu horren mintzak zelularen mintz guztien erdiak izatera hel daitezke. Zentro biosintetiko bat da: han, lipido zelular gehienak eta proteina asko sintetizatu eta aldatzen dira. **Golgi aparatua** multzoka agertzen diren zisternaz osaturik dago. Hor, erretikulu endoplasmatikotik datozen produktuen biosintesiak jarraitzen du, eta, gainera, produktu horiek sailkatu egiten dira, hainbat helmugatarara bidaltzeko. **Lisosomak** degradazio-entzimak gordetzen dituzten poltsak dira. Organulu horietan molekula eta egitura anitz apurtzen dira; bai kanpotik datozen gaiak, bai zelularenak. Lisosometara iritsi baino lehen, gaiak beste konpartimentu batetik igarotzen dira, **endosomatik** hain zuzen: hainbat molekula sailkatzen dira konpartimentu endosomikoan. **Mitokondrioak** organulu handiak dira, eta mintz bikoitz batez inguraturik daude. Barruan arnasketa gertatzen da, eta ATP molekulak ekoizten dira; gero, ATPa zelula osoan erabiliko da, mota guztietako prozesu zelularretan (nukleoan ere bai). Mitokondrioek oso ezaugarri berezia daukate: gai genetiko propioa daukate, ezinbestekoa zenbait proteina mitokondrial sintetizatzeke. Azkenik, **peroxisomak** ditugu: entzimak gordetzen dituzten poltsak dira, non oxigenoak eragindako zenbait molekularen oxidazioak gertatzen diren.



2-2 irudia. Animalia-zelularen zitoplasma, mikroskopio elektronikoaren bidez ikusita (iturria: ASCB/Daniel S Friend).

Prozesu zelular garrantzitsu batzuk organuluetatik kanpo gertatzen dira, zitosolean

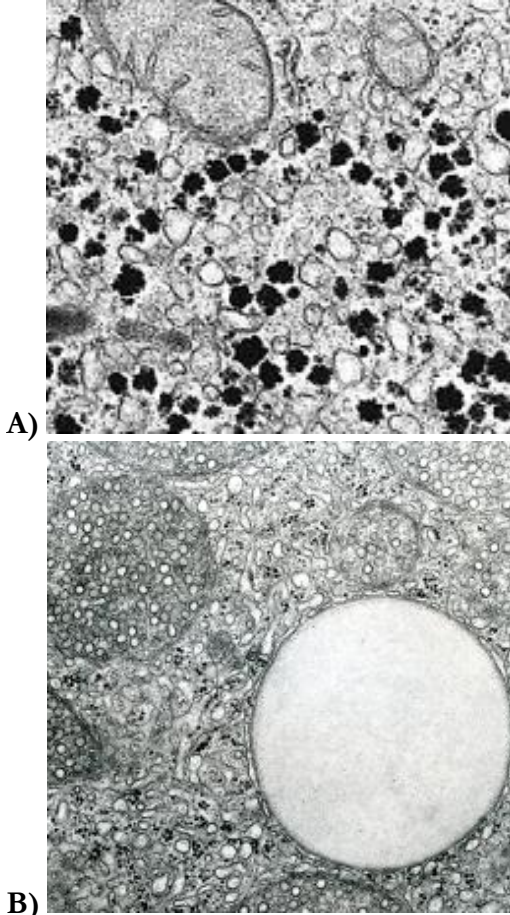
Zitoplasmatik organuluak kenduz gero, gertatzen den barrunbeari (eta han dauden osagaiak) **zitosol** deritzogu; askotan, zelularen barrunberik handiena izaten da. Zelularentzat funtsezkoak diren prozesu asko etengabe gertatzen ari dira zitosolean, proteinen sintesia eta degradazioa, besteak beste. Hori dela eta, **erribosomak**, itzulpenaz arduratzen diren egiturak, zitosoleko osagaiak dira. 10 milioi erribosoma egon daitezke animalia-zelula batean, baina kopuru horretatik erdia erretikulu endoplasmatikokoaren mintzei itsatsita dago. Proteinen degradazioaz arduratzen diren egiturei **proteasoma** deritze, eta, erribosomak bezala, zitosoleko elkarte makromolekularrak dira.

Zitosolean ere seinalizazio zelularren prozesuak gertatzen dira: zelula eukariotoaren jardura konplexua koordinatzeko seinalizazio-bide ugari daude. Bide horiek zelulaz kanpoko seinaleak eta erantzun zelularrak lotzen dituzte (seinalearen **transdukzio-bide** ere baderitze). Transdukzio-bideen eragile nagusiak proteina zitosolikoak dira.

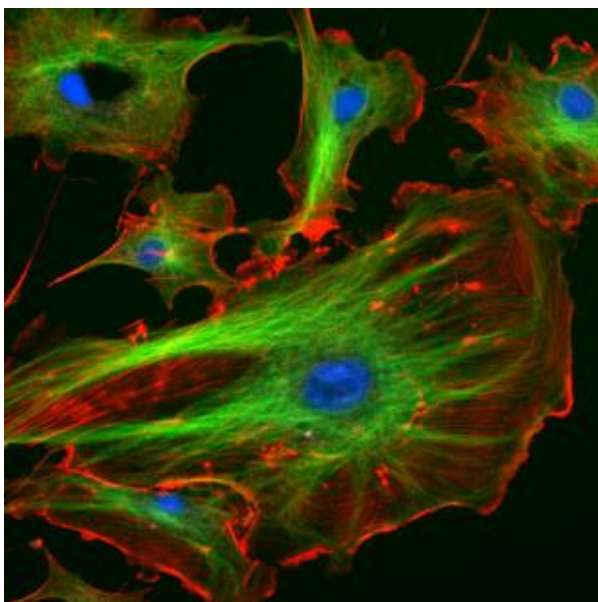
Bestalde, beste erreakzio metaboliko anitz gertatzen ari dira etengabe eta aldi berean: sintesi-erreakzioak, makromolekulen monomeroak sortzeko (aminoazido, nukleotido eta gantz-azidoen biosintesia, esaterako), eta degradazio-erreakzioak, batez ere energia lortzeko (ATP molekuletan metatzen dena). Bide metaboliko horiek ez dira independenteak, ordea; gurutzatu egiten dira, eta prozesu metabolikoen sare konplexu bat sortzen dute. Erreakzio horien artean, garrantzi berezia dauka **glukolisiak**, glukosaren degradazio anaerobikoak. Glukosa animalia-zelulen erregai nagusia da, eta zitosolean oso ugaria da.

Animalia-zeluletan erregaiak metatzeko erabiltzen diren egiturak: glukogeno pikorrak eta lipido tantak

Zelularen erregaiak konpartimentu zitosolikoan metatzen dira. Erregaiak disoluzioan dauden molekula txikiak izan daitezke, glukosa, alegia; baina erregaien erreserbak, batez ere, egitura ez disolbagarri moduan metatzen dira. Erreserba-egitura garrantzitsuenak bi dira: **glukogeno pikorrak**, glukosaren polimero bat, eta **lipido-tantak**, non gantz-azidoak triglizerido moduan metatzen diren (2-3 irudia). Egitura horiek ez daude mintz batez mugatuta; azken finean, gai espezifikoek metaketak besterik ez dira.



2-3 irudia. Erregaien metaketak. A) Glukogeno-pikorrak (iturria: Wikipedia, B) Lipido-tantak (iturria: ASCB/Daniel S Friend).



2-4 irudia. Zitosolaren zuntzak fluoreszentsiazko mikroskopiaren bidez ikusita (iturria: Wikipedia).

Zitoplasma zitoeskeletoak antolatzen du

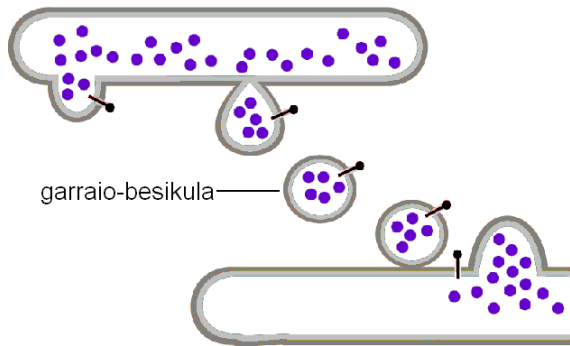
Zitosola ez da solutuaren disoluzio huts bat, non organulu zitoplasmakoak murgilduta dauden zoriz kokatuta; aitzitik oso ondo antolatuta dago. Horretarako, zuntzez osatutako sare proteiko konplexu bat dago; sare horri **zitoeskeleto** deritzo (2-4 irudia). Zitoeskeletoa, beraz, zitosolaren funtsezko osagaia da: zitoeskeletoari esker, zitosoleko osagaiak eta barrunbe horretan gertatzen diren prozesuak kokapen espezifikoetan agertzen dira. Era berean, organulu zitoplasmakoekin kokapena eragiten du. Zitoplasma osoaren antolaketa espaziala, beraz, zitoeskeletoak baldintzatzen du. Horrez gain, zitoeskeletoak itxura ematen dio zelulari, mugimendu zelularrez arduratzen da, eta funtsezkoa da zatiketa zelularra egiteko. Zitoeskeletoaren osagai nagusiak piru proteikoak dira; zehazki, hiru piru mota daude: mikrotubuluak, aktinazko piruak eta tarteko piruak.

Garraio-mekanismoak beharrezkoak dira molekulen konpartimentuen arteko trukeak lortzeko

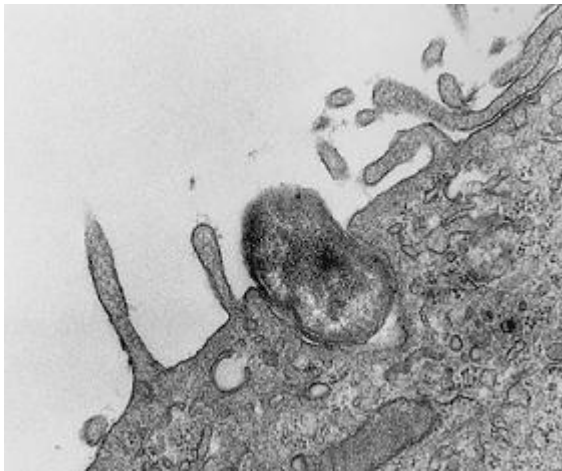
Zelula eukariotoaren barrunbeak (nukleoa, organulu zitoplasmakoak eta zitosola) ez dira egitura isolatuak; trukeak gertatzen ari dira etengabe. Azken finean, konpartimentu baten osagaiak edo han erabiltzen diren molekulek, askotan, beste konpartimentu batzuetan daukate abiapuntua (nukleoaren proteina guztiak esaterako, zitosolean ekoizten dira).

Zelulak hainbat garraio-sistema asmatu ditu molekularik barrunbeen artean trukatzeko. Zenbait organulu —erretikulu endoplasmatikoa, Golgi aparatua, lisosomak eta endosomak, hain zuzen— besikulen bidez komunikatuta daude: garraio-besikulak askatzen dira barrunbe batetik (emaitetik) eta fusionatzen dira beste barrunbe batekin (hartzailearekin) (2-5A irudia). Fenomeno horri **trafiko besikular** deritzo. **Garraio-besikulak**, beraz, oso ugariak dira edozein animalia-zelulatan. Trafiko horretan inplikaturako organuluak etengabe mintz zatiak trukutzen ari dira; hori dela eta, esaten da **barneko mintz-sistema** osatzen dutela.

Barneko mintz-sistematik kanpo mitokondrioak eta peroxisomak geratzen dira; hori dela eta, organulu horien mintzetan **translokadoreak** daude osagai espezifikoak inportatzeko. Era berean, erretikulu endoplasmatikoa eta zitosola komunikatzeko, translokadoreak erabiltzen dira. Bestalde, nukleoaren eta zitosolaren arteko trukeak estaldura nuklearrean dauden poroen bidez egiten dira.

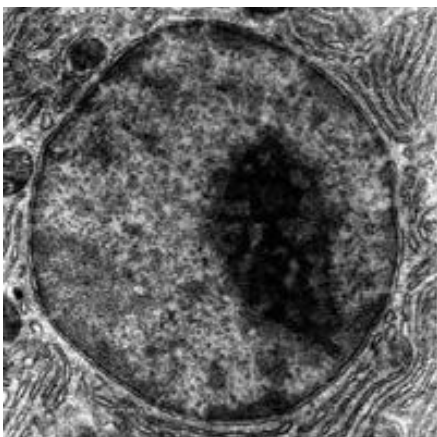


A)



B)

2-5 irudia. A) Besikulen bidezko garraioa. B) TEM bidezko fagozitosia (iturria: CDC).



2-6 irudia. Zelula eukariotoaren nukleoa eta nukleoloa (iturria: Wikipedia).

Zelula eukariotoaren mintz plasmaticoak endozitosisa eta exozitosis-gaitasuna dauka

Zelula eukariotoaren zitoplasma mintz plasmaticoak mugatzen du. Mintz plasmaticoa, egiturari dagokionez, berdina da zelula guztietan, baina, eukariotoetan, mintz plasmaticoak oso espezializazio-maila altua lortu du. Prokariotoetan mintz plasmaticoan gertatzen diren prozesu asko organulu zitoplasmaticoetan gertatzen dira eukariotoetan; ATParen sintesia, esaterako. Egoera horren ondorioz, eukariotoen mintz plasmaticoa batez ere garraio-, komunikazio- eta atxikidura-prozesuetan inplikaturik dago; alegia, ingurunearekiko harremanekin zerikusia duten funtzioetan.

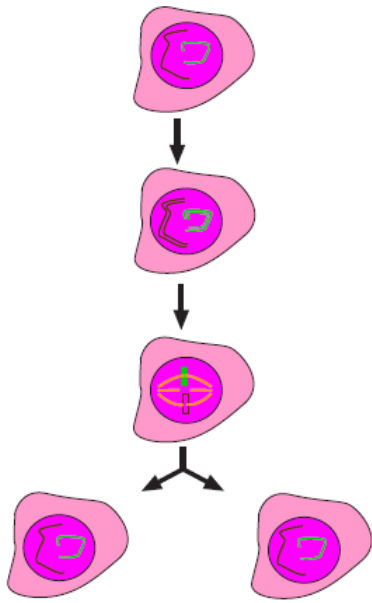
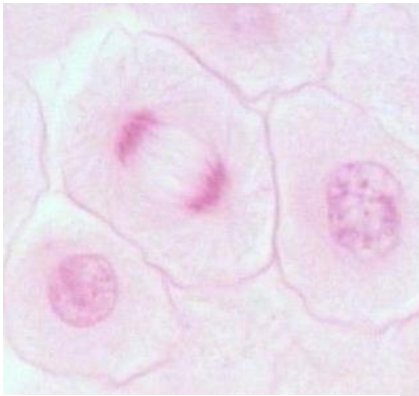
Bestalde, animalia-zeluletan mintz plasmaticoak gaitasun bereziki garrantzitsua garatu du: **endozitosi-** eta **exozitosi-** gaitasuna; hau da, gaiak barneratzea edo kanporatzea mintz-zatiak erabiliz. Endozitatzen diren produktuak, batzuetan, oso handiak dira, eta, kasu horietan, **fagozitosiaz** hitz egiten dugu. Prozesu horiek gertatu ahal izateko, zelularen azalak oso malgua izan behar du; horregatik, animalia-zelulek ez daukate pareta zelularrik, hau da, biluziak dira (2-5B irudia).

Zelula eukariotoaren nukleoak kromosomak gordetzen ditu

Nukleoan DNA zelular gehiena gordetzen da (baina ez guztia), eta zitoplasmatic banatuta dago, **estaldura nuklearra** izeneko bi mintzez osatutako egituraren bidez (2-6 irudia). Egitura horri esker, gai genetikoak zitoplasman gertatzen den jarduerari metabolikotik eta mugimendu zitoplasmaticoetatik babestuta dago.

Zelula eukariotikoaren DNAREN kopurua oso altua da; giza zelula tipiko batek, esate baterako, bakterio batek baino 1.000 aldiz DNA gehiago dauka. Bestalde, informazio genetikoak hainbat DNA molekulan gordetzen da. DNA molekula eukariotikoak oso luzeak dira, eta beti histona proteinekkin elkartuta daude; elkarte horri **kromosoma** deitzen diogu: DNA molekula bat gehi proteinak. Kromosoma indibidualak zelula zatitzen ari denean bakarrik bereizten dira; ohiko egoeran, ordea, multzo batean bilduta daude. Kromosoma multzo horri **kromatina** deritza.

Kromatinaz gainera, nukleoaren barruan beste egitura bat bereizten da: **nukleoloa**, erribosomak ekoizteko zentroa. Nukleoaren produktu nagusiak RNA molekula dira. RNAREN sintesia nukleoan gertatzen da, baina ez proteinenena; hau da, eukariotoetan gene-espresioaren bi prozesuak, transkripzioa eta itzulpena, banatuta daude (prokariotoetan, berriz, aldi berean gertatzen dira).



2-7 irudia. Zelula eukariotoa mitosian.

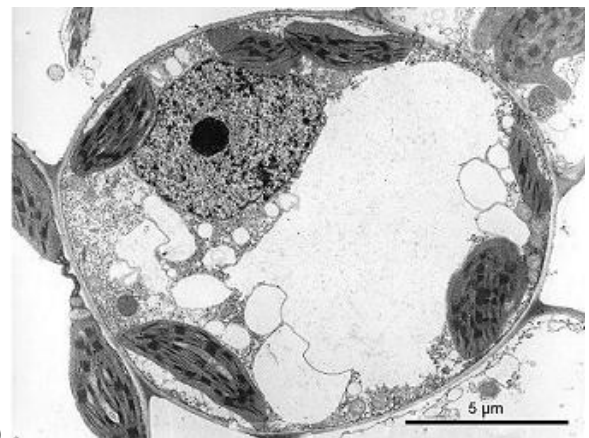
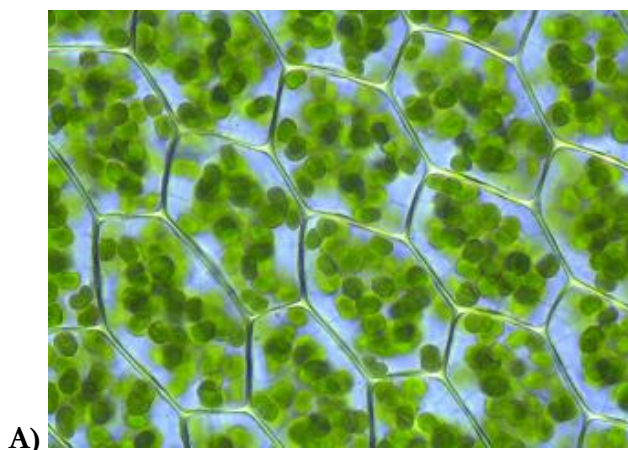
Zelula eukariotoek mitosia erabiltzen dute kromosomak banatzeko

Ikuspuntu funtzionaletik ere zelula eukariotoa oso konplexua da. Animalia-zelularen funtzioak ondorengo kapituluetan aztertzen dira sakonki; hemen, oinarritzko funtzio bat bakarrik aipatuko dugu: ugalketa. Zelula eukariotoek prozesu bat asmatu dute hain handiak diren DNA molekulak banatzeko: **mitosia**. Mitosian kromosoma bakoitza paketatu egiten da egitura trinkoak sortzeko: kromosoma mitotikoak, bi kromatidaz osatuak. Gero, zitoeskeletoari esker, kromosomak bi multzotan banatzen dira bi zelula ume genetikoki berdinak sortzeko (2-7 irudia). Mekanismo horren bidez ugaltzen dira zelula eukariotoak.

Mitosiaren bidezko ugalketa, bakterioen zatiketa bezala, asexuala da. Hala ere, eukariotoak beste ugalketa mota bat asmatu dute, non bi zelula batzen diren zelula ume genetikoki desberdinak sortzeko: meiosiaren bidezko ugalketa sexuala. Fenomeno hori, ikuspuntu ebolutibotik, oso garrantzitsua izan da izaki eukariotikoen aniztasun ikaragarria sortzeko.

Landare-zelulek ezaugarri espezifikoak dituzte

Zelula eukariotoa deskribatzeko, animalia-zelula hartu dugu eredutzat. **Landare-zelularen** antolamendua, funtsean, antzekoa da, baina zenbait ezaugarri espezifiko ditu. Gehienetan, animalia-zelulak baino handiagoak dira, pareta zelular batez estalita daude, eta animalia-zelulek ez dituzten organulu zitoplasmaticoak izaten dituzte; garrantzitsuenak bakuolak eta kloroplastoak dira (2-8 irudia).



A) B)

2-8 irudia. Landare-zelulak A) mikroskopio optikoan (iturria: flickr) eta B) mikroskopio elektronikoaren bidez ikusita (iturria: ImageBank/Gordon Beakes).

Pareta zelularra mintz plasmaticoaren gainetik dagoen egitura zurruna da, eta zelulosa du osagai nagusia (glukosaren polimero bat). **Bakuolak** presio hidrostatisiko altua duten barrunbeak dira, eta garrantzitsuak dira zelularen bolumena kontrolatzeko. Horrez gain, bakuolak erabil daitezke hainbat molekula metatzeko edo degradazio-prozesuak egiteko; izan ere jarduera lisosomikoa daukate. Askotan, landare-zelularen zitoplasma osoa bakuola handi batez okupatuta egoten da. **Kloroplastoetan**, fotosintesia gertatzen da. Egiturari dagokionez, kloroplastoak eta mitokondrioak oso antzekoak dira: mintz bikoitz batez mugatuta daude, barruan mintz asko daude, tilakoideak, non konplexu fotosintetikoak dauden, eta, gainera, organuluak bere genoma propioa dauka. Konplexu fotosintetikoetan fotosintesia gauzatzeko entzima eta eragile guztiak bilduta daude; horien artean, **klorofila** pigmentua. Pigmentu hori ezinbestekoa da argi-energia harrapatzeko; haren eraginagatik, kloroplastoak, eta, hortaz, landare-zelulak ere, berde kolorekoak dira.

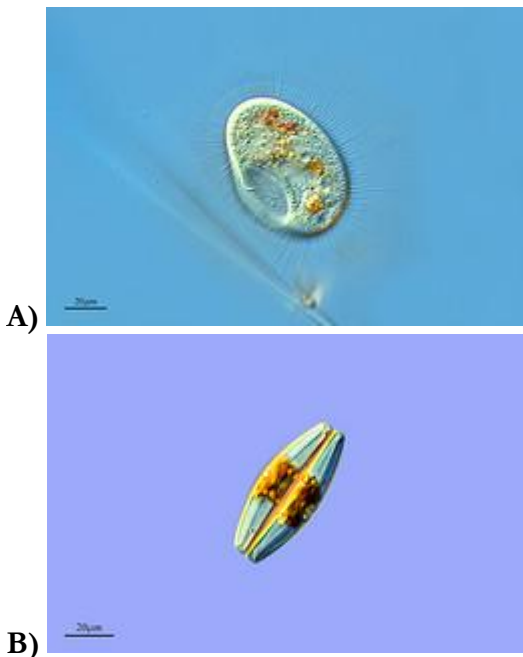
Eukarioto zelulabakarrak oso zelula konplexuak dira

Izaki eukariotiko asko, prokariotoak bezala, zelula bakar batez osatuta daude: eukarioto **zelulabakarrak** ditugu. Eukarioto zelulabakarrak osatzen duten taldeak **Protista** du izena. Bakterioak bezala, mikroorganismoak dira (mikroskopikoak), baina askoz konplexuagoak. Gainera, taldearen aniztasuna harrigarria da (2-9 irudia).

Protistorik konplexuenak **protozooak** dira. Protozooek, zelulabakarrak izan arren, animaliak gogorarazten dizkigute: mugikorak, oso aktiboak, eta asko harrapariak dira. Nahiko handiak dira (zelula eukariotiko tipiko batekin konparatuz gero), eta oso egitura espezializatuak izan ditzakete (flageloak, ile sentikorak, muskuluen antzeko egitura uzkurkorak, eta abar). **Diatomeak**, beste protisto talde bat, fotosintetizatzaileak dira, ez-mugikorak, eta zelula silizez osatutako kutxa batean sartuta dago. **Legamiak** onddoen antzekoak dira (ez-fotosintetizatzaileak), eta, egiturari dagokionez, zelula eukariotorik sinpleenak. Hain sinpleak izateagatik, legamiak, eta zehazki *Saccharomyces cerevisiae* (ogia egiteko erabiltzen den legamia), oso erabilgarriak izan dira zelula eukariotoaren prozesu konplexuak ikertzeko: ziklo zelularren kontrola, esate baterako, agerian jarri da legamiei esker.

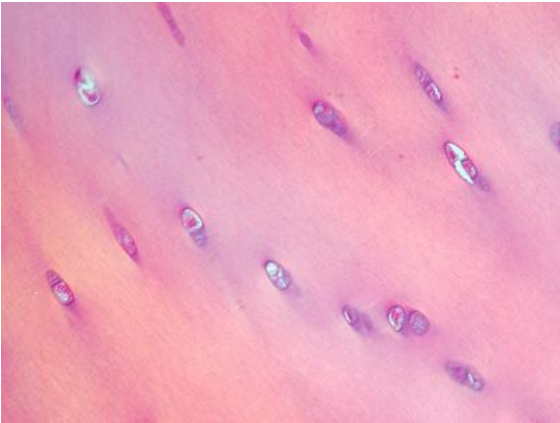
Eukariotoak elkartu egiten dira egitura iraunkorrek sortzeko: zelula anitzeko organismoak

Organismo zelulabakarrez gainera, zelula eukariotoa zelula anitzeko izakiak sortzeko gai izan da; izaki horiek eboluzioan zehar gero eta konplexuago bihurtu dira, goi-mailako animalia eta landareak eman arte.



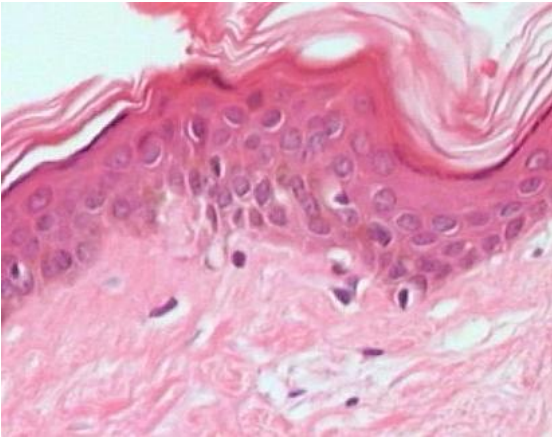
2-9 irudia. Eukarioto zelulabakarrak: A) Ziliatuak (protozooak). B) Diatomeak (iturria: flickr/PROYECTO AGUA).

Elkarte zelularrik sinpleenak **koloniak** dira. Kolonia batean, zelula guztiak oso antzekoak dira; gainera, kolonia desantolatu egin daiteke, eta askatzen diren zelulak indibidualki bizi daitezke. Benetako zelula anitzeko organismoetan ordea, elkartzen diren zelulek funtzio espezializatuak betetzen dituzte. Gainera, zelula anitzeko organismoa elkarre iraunkorra da: zelulak lotuta mantentzen dira beren artean, **atxikidura-mekanismo** espezifikoaren bidez. Bestalde, animalien kasuan, gorputza antolatzekeo bigarren elementu bat zelulak bezain garrantzitsua da: **zelulaz kanpoko matrizea**, zelulen artean dagoen gai azelularra (2-10 irudia).



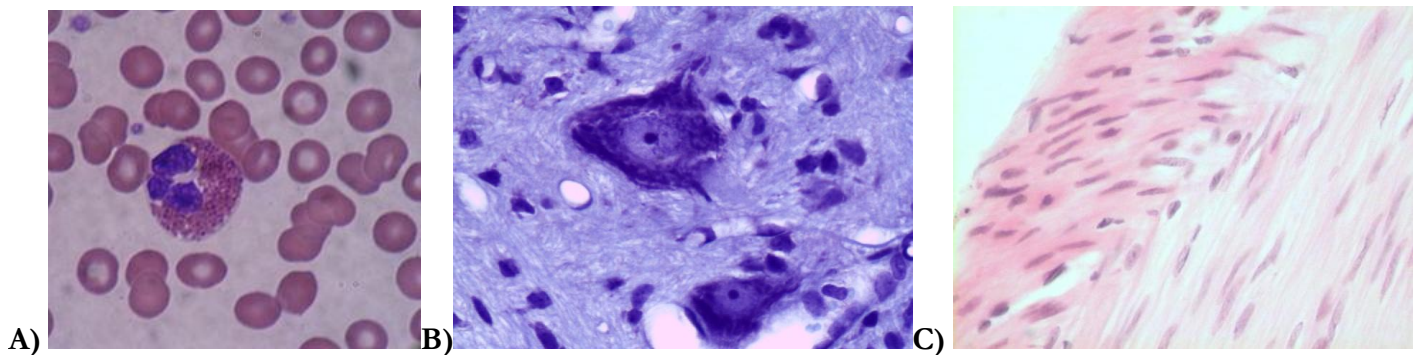
2-10 irudia. Zelulaz kanpoko matrizea kartilagoan (iturria: Wikipedia/Emmanuelm).

Zelulak eta zelulaz kanpoko matrizea modu espezifikoetan antolatzen dira **ehunak** sortzeko. Ehunak, funtsean, mota bereko zelulaz osatuta daude, eta zelulaz kanpoko matrize espezifikoa daukate. Oinarrizko ehuna —animalia guztietan dago— **epitelio-ehuna** da; izan ere, animalia sinpleenak (koralak, esate baterako) orri epitelialez bakarrik daude osatuta. Epitelioak geruza zelularrik dira, non zelulak kokatzen diren oso gertu, eta askotan oso modu ordenatuan (2-11 irudia).



2-11 irudia. Epitelioak. Larruazaleko epidermisa.

Goi-mailako animalietan ehun eta zelula mota asko daude: ugaztunetan, 200 zelula mota baino gehiago deskribatu dira. Zelula mota bakoitzak bere funtzio espezifikoa izaten du, eta hori bere morfologian islatzen da (2-12 irudia). Eukariotoek, beraz, konplexutasun-maila harrigarria lortu dute; hala ere, ez dugu ahaztu behar zelula anitzeko eukariotoak ere zelula bakar batetik garatzen direla: zelula hori **zigotoa** da, gameto arra eta gameto emea fusionatu ondoren sortzen den zelula. Azken finean, nahiz eta miloika zelulaz osatuta egon, gure gorputza garatzeko informazio guztia zelula eukarioto bakar batean gordetzen da.



2-12 irudia. Goi-mailako animalien zenbait zelula mota eta osatzen dituzten ehunak. A) Globulu gorriak eta zuriak (odola) (iturria: Wikipedia/Bobjgalindo). B) Neuronak (nerbio-ehuna). C) Muskulu-zelulak.

GAIA JORRATZEKO GALDERAK

- Zein dira zelula eukarioto eta prokariotoen arteko desberdintasun nagusiak?
- Zer dira organulu zitoplasmatikoak, eta zer funtzio nagusi betetzen dituzte zelula eukariotoan?
- Zer ezaugarri berezi izaten ditu mitokondrioak, beste organuluekin alderatuz?
- Zer da zelula eukariotoaren barneko mintz-sistema?
- Zer da zitosola, eta zer prozesu nagusi gertatzen dira zitosolean?
- Zer da zitoeskeletoa, eta zertarako balio du?
- Nola banatzen du gai genetikoa zelula eukariotoak bi zelula umeetan?
- Zein dira landare-zelulen osagai espezifikoak?
- Zein dira eukarioto zelulabakar mota nagusiak?
- Zertan bereizten dira elkarte zelular eukariotiko eta prokariotikoak?
- Zer da zelulaz kanpoko matrizea?
- Nondik sortzen dira goi-mailako organismoa osatzen duten zelula guztiak?