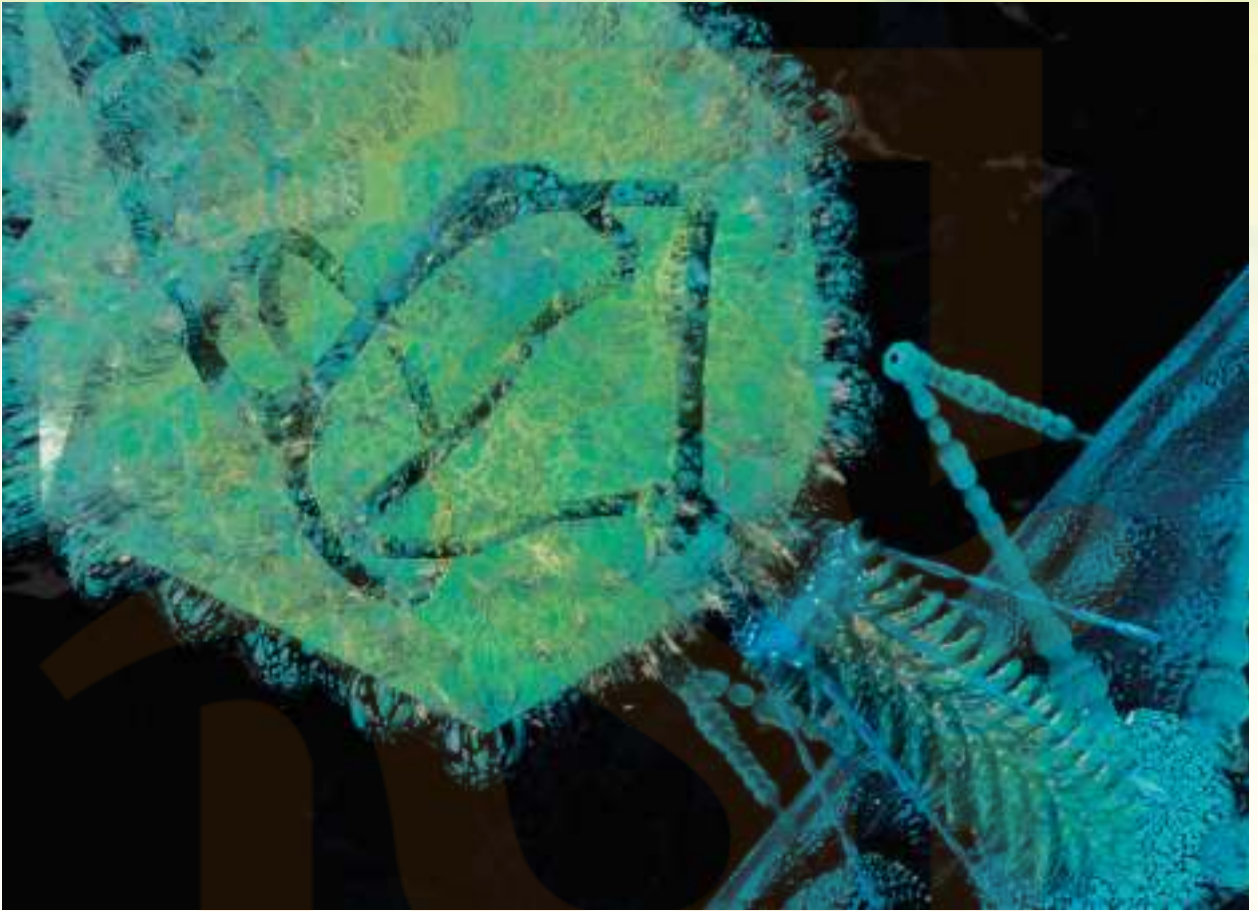


9 Microorganismes i virus



Objectius previstos

- Comprendre i conèixer l'estructura i la fisiologia dels microorganismes.
- Distingir les característiques d'alguns grups significatius de microorganismes per tal d'apreciar-ne la gran diversitat.
- Raonar sobre el sentit de les classificacions dels éssers vius i els possibles criteris que s'utilitzen.
- Reconèixer la importància ecològica dels microorganismes.
- Conèixer la constitució dels virus i el seu cicle de reproducció.
- Valorar la importància de les aplicacions dels microorganismes en diverses activitats humanes.

Organització dels continguts

1. Bacteris

- 1.1. Estructura cel·lular
- 1.2. Fisiologia bacteriana
- 1.3. Classificació dels bacteris
- 1.4. Cicles biogeoquímics

2. Virus

- 2.1. Estructura dels virus
- 2.2. Cicle de replicació
- 2.3. Classificació dels virus

3. Protozous

- 3.1. Estructura cel·lular
- 3.2. Fisiologia dels protozous
- 3.3. Ecologia
- 3.4. Classificació dels protozous

4. Fongs

- 4.1. Estructura cel·lular
- 4.2. Fisiologia dels fongs
- 4.3. Ecologia
- 4.4. Classificació dels fongs

5. Usos dels microorganismes

Abans de començar...

En aquesta unitat estudiarem els bacteris, els virus, els protozous i els fongs. Tot i que s'acostumen a estudiar com a microorganismes, alguns es poden observar a simple vista.

És el cas d'alguns protozous que no són microscòpics. Especialment destacable és el cas dels fongs que, juntament amb nombrosos exemplars microscòpics, presenten espècies que formen espectaculars i artístics cossos fructífers com els bolets.

Tots els microorganismes inclouen espècies causants de greus malalties humanes que tractarem en el següent bloc d'unitats.

El fet de conèixer detalls del món dels microorganismes ens ajuda a percebre en tota la seva amplitud la meravella del fenomen de la vida.

Recorda

- Bàsicament, la cèl·lula **eucariota** es distingeix de la **procariota** perquè conté un embolcall nuclear que aïlla el material genètic de la resta de la cèl·lula.
- A més dels regnes **vegetal** i **animal** que hem tractat en diverses ocasions, existeixen tres regnes més d'éssers vius: el regne de les **moneres**, el regne dels **protocists** i el regne dels **fongs**.
- Els bacteris, els protozous i els fongs són representants, respectivament, d'aquests tres regnes.
- Els virus són estructures amb una única funció vital: la reproducció. Per aquesta raó, no se'ls considera éssers vius.

El regne de les moneres inclou tots els organismes formats per cèl·lules procariotes. En distingim dos grans grups:

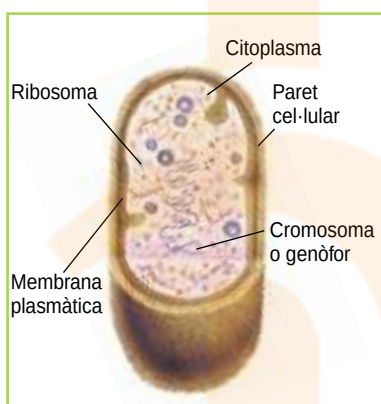
- Arqueobacteris.
- Eubacteris.

Els **arqueobacteris** formen el grup més antic. Es diferencien dels eubacteris pel fet de posseir un tipus de paret diferent i una gran heterogeneïtat genètica.

Habiten en ambients molt variats, fins i tot en condicions extremes, on altres organismes no poden viure, com a les xemeneies volcàniques de les profunditats marines (on abunda el metà), en ambients salins o en zones de temperatures extremes, com els gels de l'Antàrtida o els guèisers.

Els **eubacteris**, que també s'anomenen senzillament bacteris, són el grup més ampli i són presents en nombrosos ecosistemes.

Els bacteris són l'objectiu d'estudi d'aquesta unitat.



1. Bacteris

Els bacteris són microorganismes unicel·lulars, de dimensions compreses entre 1 μ i 5 μ de diàmetre. Poden habitar en tots els medis terrestres i aquàtics i, fins i tot, a l'interior d'altres éssers vius.

L'estructura d'una cèl·lula bacteriana correspon a la de la **cèl·lula procariota**. A continuació, en descriurem l'estructura i la fisiologia.

1.1. Estructura cel·lular

L'estudi detallat al microscopi òptic i al microscopi electrònic ha permès de distingir-ne l'estructura.

Paret cel·lular

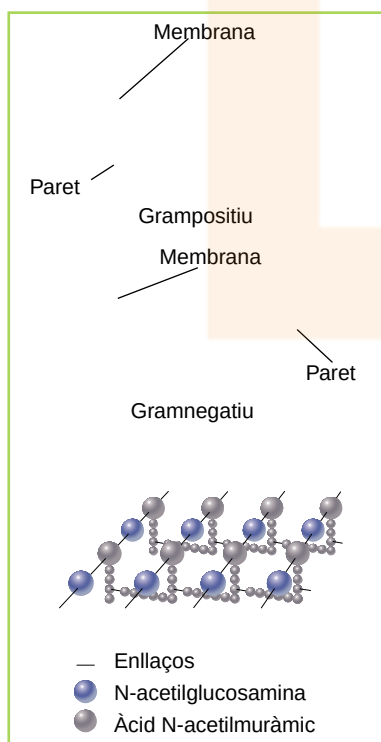
La paret cel·lular és una coberta rígida que recobreix la membrana plasmàtica.

Estructura

La paret cel·lular dels bacteris està constituïda principalment per **mu-reïna**, un peptidoglicà format per la unió de monòmers de N-acetilglucosamina, i àcid N-acetilmuràmic. Aquestes molècules s'uneixen per mitjà d'enllaços O-glicosídics constituint una malla que envolta tota la cèl·lula.

Existeixen dos tipus de paret, que difereixen en el gruix i en la forma. Van ser descobertes per Hans Christian Gram el 1884, el qual va comprovar que es podien diferenciar segons un mètode de tinció, que fou anomenat tinció de Gram en el seu honor. Així, podem diferenciar:

- Bacteris **grampositius**, que es tenyeixen de color violeta. Presenten una paret d'uns 50 nm de gruix, d'estructura llisa.
- Bacteris **gramnegatius**, que es tenyeixen de color vermell. La paret és més prima, d'uns 10 nm de gruix, i la seva estructura externa és irregular.



Funcions

La paret cel·lular bacteriana:

- Proporciona **forma i rigidesa** a la cèl·lula. Les cèl·lules procariotes poden ser arrodonides (cocs), en forma de bastó (bacils), corbes (vibrions) o en espiral (espirils).
- **Protegeix** la cèl·lula de possibles atacs de patògens o substàncies que la podrien destruir.
- Permet el **pas de substàncies nutritives i de rebuig**.
- **Evita l'esclat osmòtic** en mitjans hipotònics.

Membrana plasmàtica

Té una estructura similar a la de la cèl·lula eucariota, amb un gruix de 7,5 a 8 nm. Tanmateix, en difereix en algunes de les funcions.

Estructura

Està formada per una doble capa de fosfolípids, amb proteïnes incloses. Els fosfolípids presenten les regions hidròfiles polars cap a l'exterior de la membrana i cap al citoplasma. Les cadenes hidròfobes apolars d'àcids grassos es dirigeixen cap al centre de la bicapa.

La membrana conté múltiples proteïnes, entre les quals hi ha enzims com ara *permeases* i, en alguns grups, pigments fotosintètics, com ara *bacterioclorofil·la*.

En moltes espècies, pot formar plects cap a l'interior de la cèl·lula. D'aquesta manera, n'augmenta la superfície. Aquests plects s'anomenen **mesosomes**.

Funcions

La membrana plasmàtica aconpleix diverses funcions. Les principals són:

- Regula l'**intercanvi** de substàncies entre l'interior i l'exterior cel·lular.
- Controla la **síntesi** i el **creixement** de la membrana i de la paret cel·lular.
- Contribueix a la **distribució dels components cel·lulars** cap a les cèl·lules filles durant la reproducció.

A més, desenvolupa altres funcions, que en la cèl·lula eucariota són pròpies d'òrgans com les mitocondries, com ara el transport electrònic de la cadena respiratòria i la **síntesi d'ATP**.

En alguns grups que contenen bacterioclorofil·la, aquesta es concentra en la membrana per tal de dur a terme la fotosíntesi.

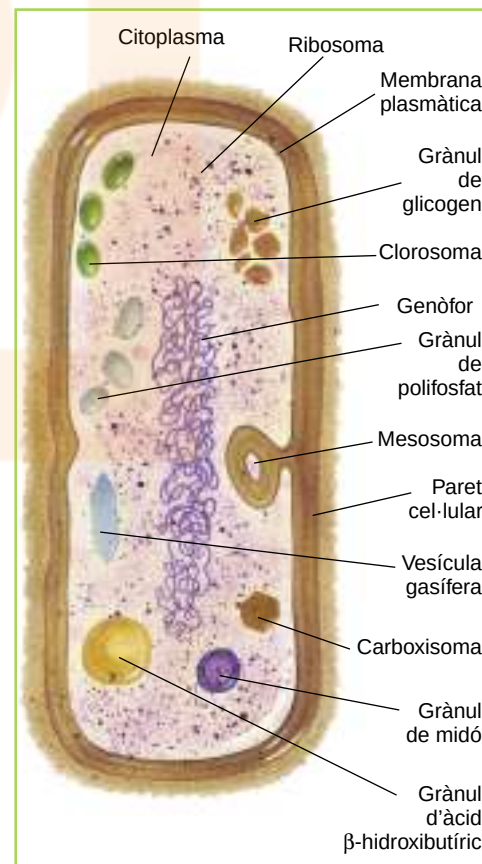
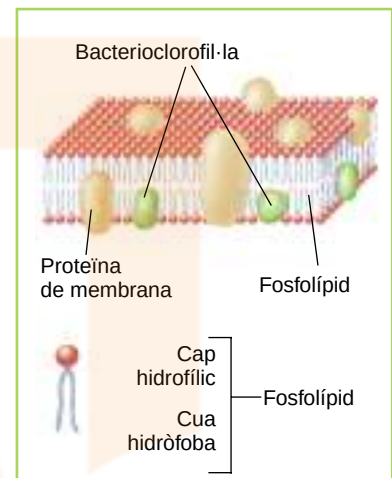
Genòfor

Els bacteris contenen un únic cromosoma, anomenat genòfor. No posseeix embolcall nuclear que el separi de la resta de la cèl·lula.

De vegades, també contenen plasmidis.

Estructura

El cromosoma està constituït per una doble cadena de DNA, tancada sobre si mateixa i molt replegada.



Funcions

El cromosoma controla les funcions de la cèl·lula i transmet les característiques hereditàries a les cèl·lules filles.

Els plasmidis contenen gens que proporcionen avantatges als bacteris, com ara resistència als antibiòtics.

Citoplasma

Té una estructura fibrosa, similar al citoesquelet de les cèl·lules eucariotes.

Està constituït per proteïnes que s'entrellacen per formar una matriu. La resta està format per un 80 % d'aigua.

A més del *genòfor*, conté els *ribosomes* i les *inclusions citoplasmàtiques*. Les fibril·les entrellacen tots els components de l'interior de la cèl·lula, inclosos els ribosomes, que en la cèl·lula eucariota estan lliures.

Ribosomes

Són els responsables de la síntesi de proteïnes. En els bacteris, la transcripció i la síntesi de proteïnes es duen a terme totalment en el citoplasma.

Inclusions citoplasmàtiques

En les cèl·lules bacterianes existeixen diversos tipus d'inclusions envoltades per una membrana que consisteix en una única capa en la qual predominen les proteïnes.

- Els **vacúols de gas** són vesícules d'aspecte cilíndric. Afavoreixen la flotació dels bacteris que viuen en un medi aquàtic.
- Els **carboxisomes**, que també s'anomenen cossos polièdrics, són petites estructures membranoses que contenen *ribulosa difosfat carboxilasa (rubisco)*, el principal enzim fixador de diòxid de carboni per al cicle de Calvin.

Per tant, són presents en els bacteris fotoautòtrofs i quimioautòtrofs.

- Els **clorosomes** són vesícules allargades que entapissen l'interior de la membrana plasmàtica i contenen pigments verds fotosintètics.

Són característics dels bacteris que realitzen la fotosíntesi.

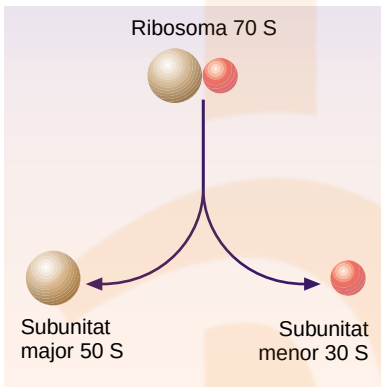
- Altres inclusions contenen materials cel·lulars de reserva.

Així, es presenten diversos tipus d'inclusions citoplasmàtiques, com les de **midó, glicogen, àcid β -hidroxibutíric o polifosfats**.

Altres estructures presents en alguns tipus de bacteris

A més dels elements que hem explicat, existeixen altres estructures que poden pertànyer a determinats tipus de bacteris.

Entre aquestes estructures trobem la *càpsula*, els *flagels* i les *fimbries*.



Càpsula

La càpsula és un embolcall de gruix variable i d'aspecte mucós que es pot formar en alguns bacteris per la part externa de la paret cel·lular.

Està formada per cadenes de polisacàrids.

La seva funció consisteix a proporcionar resistència als bacteris davant la sequedat ambiental, protegir-los de l'atac dels virus i fixar-los al substrat.

També els confereix resistència a substàncies tòxiques, com els antibiòtics.

Flagels

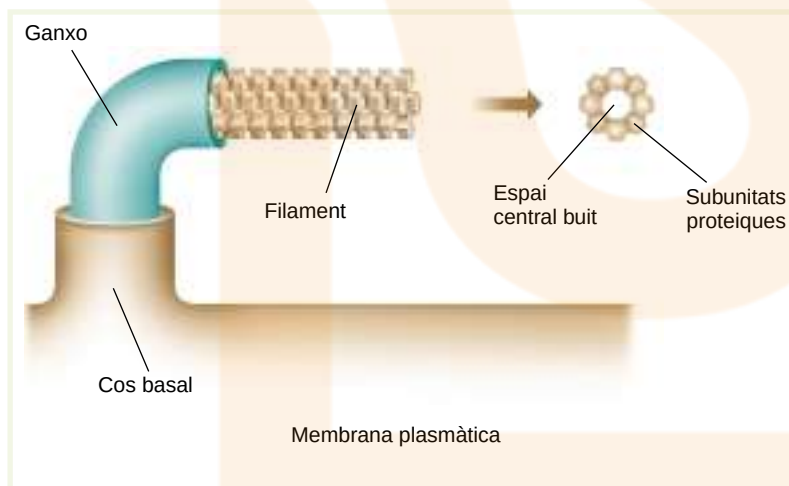
Són filaments semirígid, presents en algunes espècies de bacteris, la funció dels quals consisteix a proporcionar moviment a les cèl·lules.

Els flagels parteixen de la membrana plasmàtica, travessen la paret i s'estenen cap a l'exterior de la cèl·lula.

El nombre i la posició dels flagels varien en les diverses espècies.

La forma i el diàmetre també poden canviar. Aquest últim oscil·la entre 12 i 18 nm.

L'estructura d'un flagel és la següent:



- **Filament.** És la part més externa del flagel. Està constituït per una proteïna específica, anomenada **flagel·lina**.

La flagel·lina forma cadenes helicoidals al voltant d'una regió central buida. Les proteïnes se sintetitzen en la base del flagel i es desplacen a través de l'orifici central fins a l'extrem on s'incorporen.

- **Ganxo.** Té forma corba i s'uneix a la cèl·lula.
- **Cos basal.** Es troba a l'interior de la membrana plasmàtica i s'insereix per mitjà d'una sèrie d'anells.

Fímbries

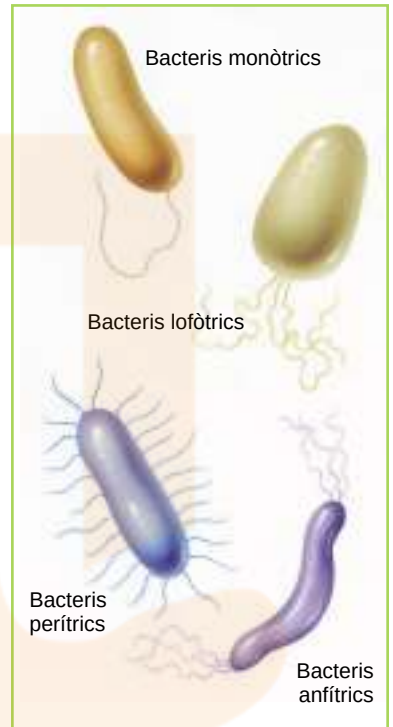
Les fímbries o *pili* són filaments rígids, formats per agrupacions en forma helicoidal de la proteïna **pilina**. El seu gruix és molt variable, poden mesurar des de 4 nm de diàmetre fins a 35 nm.

Les fímbries es classifiquen segons la seva funció:

- **Fímbries d'infecció.** Les posseeixen bacteris que parasiten altres cèl·lules. Permeten l'adhesió a les cèl·lules que infecten.
- **Fímbries sexuals.** Faciliten el procés de la **conjugació**, és a dir, la transferència de material genètic d'una cèl·lula a una altra.



Bacteri amb fímbries.



1.2. Fisiologia bacteriana

Els bacteris poden colonitzar qualsevol substrat i viure en els ambients més diversos, fins i tot els de condicions més extremes, on no és possible cap altra forma de vida.

Aquesta elevada capacitat d'adaptació es deu a tres característiques de la seva fisiologia:

- La diversitat en els tipus de **nutrició** els permet d'utilitzar com a fonts d'energia i de matèria una gran varietat de recursos.
- Les cèl·lules tenen una **taxa de divisió molt elevada**. Això afavoreix una ràpida extensió pel medi en el qual es desenvolupen.
- Mitjançant **mecanismes de resistència** com les espores, poden sobreviure a condicions adverses, com la manca d'aigua, de nutrients, etc.

La nutrició

Els bacteris constitueixen l'únic grup d'éssers vius que posseeixen representants de tots els tipus de nutrició que expliquem en la unitat 8.

- Els bacteris **fotoautòtrofs** utilitzen la llum com a font d'energia, com en el cas dels bacteris que contenen clorosomes amb pigments capaços de realitzar la fotosíntesi.

La font de matèria més freqüent és el CO_2 que, igual que les plantes, capten de l'atmosfera i l'incorporen al cicle de Calvin. També poden utilitzar el sofre i compostos de sofre (S , H_2S), o l'amoníac, NH_3 , per tal d'obtenir les molècules necessàries per al metabolisme. Un exemple de bacteris fotoautòtrofs són els que pertanyen al gènere *Chlorobium*.

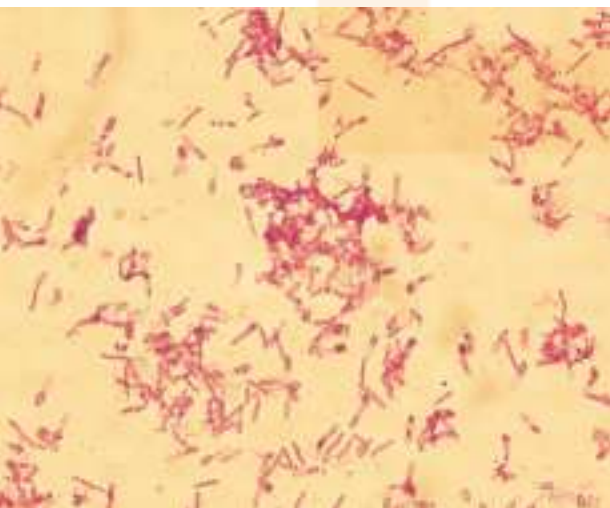
- Els bacteris **fotoheteròtrofs** utilitzen també la llum com a font d'energia, encara que la font de matèria no és el CO_2 , sinó compostos orgànics, en la seva majoria glúcids. Els bacteris del gènere *Rhodospirillum* són fotoheteròtrofs.

- Els bacteris **quimioautòtrofs** oxiden diversos compostos inorgànics (NO_2^- , NH_3 , H_2S). Com a font de matèria poden tenir diversos substrats (CO_2 , S , H_2S , NH_3), igual que els bacteris fotoautòtrofs. El gènere *Nitrobacter* està constituït per bacteris quimioautòtrofs.

- Els bacteris **quimioheteròtrofs** utilitzen glúcids, lípids i proteïnes per a l'obtenció d'energia i de matèria.

Algunes espècies quimioheteròtrofes colonitzen altres éssers vius, dels quals obtenen els nutrients. De vegades, aquesta relació beneficia tant els bacteris com l'organisme al qual colonitzen, i altres vegades el perjudiquen, com en el cas dels bacteris que provoquen malalties.

També poden ser descomponedors de les restes de matèria orgànica, la qual cosa els converteix en microorganismes amb un important paper ecològic. El gènere *Mycobacterium* conté exemples de bacteris quimioautòtrofs.



Clostridium tetani és el bacteri causant del tètanus.

Els bacteris que utilitzen oxigen per a degradar la matèria i per a obtenir ATP s'anomenen **aeròbics**. Aquests bacteris desprenen CO₂ com a producte final de l'oxidació.

Quan no utilitzen l'oxigen, els bacteris són **anaeròbics**. Degraden la matèria orgànica per mitjà de fermentacions, en les quals l'acceptor d'electrons és una molècula orgànica. En alguns tipus de fermentacions es pot desprendre diòxid de carboni. Alguns bacteris anaeròbics utilitzen nitrats o sofre com a acceptors d'electrons, al final del procés.

Els bacteris anaeròbics es poden classificar en:

- **Anaeròbics estrictes.** No toleren l'oxigen i moren. Pertanyen a aquest grup alguns gèneres de *Clostridium*.
- **Anaeròbics facultatius.** El seu metabolisme depèn de la presència d'oxigen; si hi ha oxigen en el medi l'utilitzen; si no, poden prescindir-ne i utilitzar un altre acceptor d'electrons. *Escherichia coli* pertany a aquest grup.
- **Aerotolerants.** No utilitzen l'oxigen però en toleren la presència. *Streptococcus thermophilus* és un bacteri d'aquest tipus.

La relació

Els bacteris es mouen orientats envers estímuls concrets. Aquests moviments s'anomenen **tactismes**. Les condicions del medi poden induir els bacteris a acostar-se, per exemple per tal de nodrir-se, o bé a allunyar-se, davant la presència d'un element nociu.

Es produeixen tres tipus de moviment en els bacteris:

- **Moviment quimiotàctic.** Determinades concentracions de substàncies provoquen el moviment. Els nutrients, com ara glúcids (maltosa, glucosa...) o aminoàcids, com la serina, *atreuen* determinats bacteris.

En canvi, les substàncies tòxiques per als bacteris, com el lisozim de les llàgrimes, els *repel·leixen*, i el moviment s'orienta cap al sentit contrari.

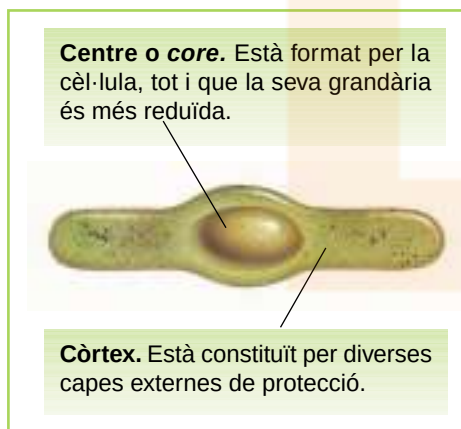
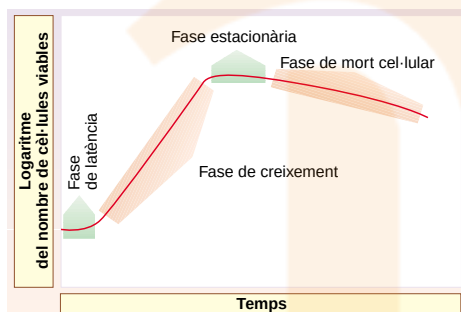
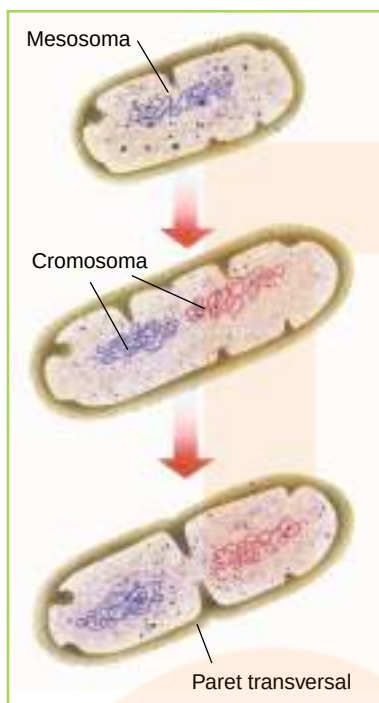
- **Moviment fototàctic.** Els bacteris fotosintètics responen als estímuls lluminosos.

Així, s'ha comprovat que els bacteris vermells, que contenen bacterioclorofil·la i carotenoides, es desplacen cap a la llum.

- **Moviment aerotàctic.** Els bacteris aeròbics estrictes es desplacen cap a zones on hi ha una concentració d'oxigen més gran, mentre que els anaeròbics estrictes ho fan en sentit contrari.

Exercicis

1. Explica quines són les diferències entre els bacteris autòtrofs i els heteròtrofs.
2. *Lactobacillus* és un tipus de bacteri que utilitza la lactosa, el sucre de la llet, com a font d'energia i de matèria.
— A quin grup de bacteris pertany segons el seu tipus de nutrició?



Estructura d'una endòspora.

La reproducció

Els bacteris es reproduïxen per divisió cel·lular. Al llarg del cicle es distingeixen dues fases:

Fase activa

— S'inicia amb la replicació del DNA tancat sobre si mateix, tal com hem descrit en la unitat 7.

S'obre la doble hèlix de DNA, i cada cadena actua com a motlle per a la síntesi d'una cadena complementària mitjançant l'acció de les DNA polimerases.

— Els mesosomes tenen un paper molt important en la separació de les dobles cadenes filles i del material citoplasmàtic, ja que cada nou cromosoma queda unit a un mesosoma a cada costat de la cèl·lula.

— La cèl·lula sintetitza nous ribosomes i proteïnes, així com la resta de les inclusions citoplasmàtiques, i augmenta de grandària.

— Es produeix una invaginació de la membrana a la zona central de la cèl·lula, de manera que s'origina un septe que separa la cèl·lula en dues meitats.

A cada costat de la cèl·lula queda un genòfor i aproximadament la meitat del material citoplasmàtic.

— Finalment, secreten substàncies per tal de formar la paret bacteriana en la zona de separació i les dues cèl·lules filles queden separades.

En condicions òptimes, la divisió cel·lular en els bacteris dura entre 20 i 60 minuts.

Fase de repòs

Les dues cèl·lules creixen, es desenvolupen i es preparen per a tornar-se a reproduir. La fase de repòs pot durar des d'uns minuts fins a uns dies, segons l'espècie i les condicions del medi.

En el cas que les condicions del medi siguin adverses, es poden formar espores de resistència o **endòspores**.

El creixement bacterià

Si les condicions són favorables, a partir d'una sola cèl·lula es forma una **colònia**, per mitjà de successives divisions.

El creixement d'una població bacteriana passa per quatre fases:

- **Fase de latència.** És un període en el qual les cèl·lules es preparen per a la reproducció.
- **Fase de creixement.** Les cèl·lules es dupliquen de manera contínua i provoquen un creixement exponencial de la població. Es pot presentar aquesta fase quan existeix abundància de nutrients en el medi.
- **Fase estacionària.** Es produeix quan hi ha una acumulació de productes del metabolisme o s'exhaureixen els nutrients. El creixement s'atura.
- **Fase de mort cel·lular.** La població de bacteris disminueix progressivament per la mort cel·lular.

Exercicis

3. Compara la reproducció de la cèl·lula procariota amb la de la cèl·lula eucariota.
 - Indica en quins aspectes s'assemblen i en quins es diferencien.
4. Quines condicions poden provocar la formació d'una endòspora?

1.3. Classificació dels bacteris

Existeixen diferents maneres de classificar els bacteris; en aquest llibre utilitzem el sistema que es basa en el tipus de nutrició que presenten.

A continuació, mostrem alguns grups de bacteris classificats segons aquest criteri:

Grup	Característiques
Bacteris fotoautòtrofs	Bacteris que realitzen la fotosíntesi i utilitzen CO_2 o sofre (S, H_2S) com a font de matèria. Contenen bacterioclòrofil·la i carotenoides per tal de captar la llum. La seva paret és gramnegativa. S'hi inclouen els bacteris vermells del sofre, com <i>Thiospirillum</i>, i els bacteris verds, com <i>Chlorobium</i>.
Bacteris quimioautòtrofs	Els bacteris quimioautòtrofs creixen normalment en la foscor sobre substrats minerals, dels quals obtenen energia i matèria. Els substrats que utilitzen són compostos del nitrogen (NH_4, NO_2^-), minerals que contenen ions de ferro, sofre (H_2S), hidrogen molecular i monòxid de carboni. Poden presentar paret gramnegativa o grampositiva, segons l'espècie. Un exemple de bacteri nitrificant és l'espècie <i>Nitrobacter</i>, mentre que <i>Gallionella</i> pertany als bacteris del ferro.
Bacteris quimioheteròtrofs aeròbics	Són capaços d'utilitzar nombrosos compostos orgànics com a nutrients. Utilitzen O_2 en el seu metabolisme, i desprenen CO_2 com a producte final. La seva paret és gramnegativa. Exemples: <i>Pseudomonas</i>, <i>Rhizobium</i>.
Bacteris quimioheteròtrofs que formen endòspores	Utilitzen substrats orgànics. Són bacteris que viuen en el sòl i formen endòspores. Existeixen espècies aeròbiques i anaeròbiques. Moltes són patògenes, ja que produeixen toxines. La seva paret és grampositiva. Dos dels grups més característics són <i>Clostridium</i> i <i>Bacillus</i>.
Bacteris fotoheteròtrofs	Bacteris vermells que no són del sofre. Duen a terme la fotosíntesi i es nodreixen mitjançant compostos orgànics, com àcids grassos, alcohols i glúcids. Aquest és un procés anaeròbic. Tanmateix, algunes espècies són aeròbiques, i poden créixer en la foscor per oxidació de substrats orgànics. La seva paret és gramnegativa. Alguns exemples d'aquests bacteris són <i>Rhodospirillum rubrum</i> i <i>Rhodospseudomonas</i>.
Bacteris fermentadors	El seu metabolisme és fermentatiu; per tant, són anaeròbics. Un dels grups més coneguts són els bacteris de l'àcid làctic, que utilitzen glucosa i lactosa com a substrat; com a resultat s'obté àcid làctic. La seva paret és grampositiva. <i>Lactobacillus</i> i <i>Leuconostoc</i> pertanyen a aquest grup de bacteris.
Bacteris aeròbics facultatius	Són un grup de bacteris que utilitzen molècules orgàniques com a substrat. En absència d'oxigen, realitzen fermentacions anaeròbiques, i en presència d'oxigen, duen a terme la respiració. Tenen paret gramnegativa. Algunes de les espècies més conegudes són <i>Escherichia coli</i>, <i>Salmonella</i>, <i>Shigella</i>.

1.4. Cicles biogeoquímics

Tots els elements necessaris per a la vida (nitrogen, sofre, carboni, fòsfor...) són transformats cíclicament.

Un **cicle biogeoquímic** és el recorregut que segueix un element químic en la natura: és captat del medi ambient pels éssers vius, passa d'un ésser viu a un altre, i torna de nou al medi.

Els bacteris contribueixen de manera decisiva al reciclatge continu d'aquests elements.

Vegem amb detall els cicles del nitrogen i del sofre, i algunes característiques del cicle del carboni i del fòsfor.

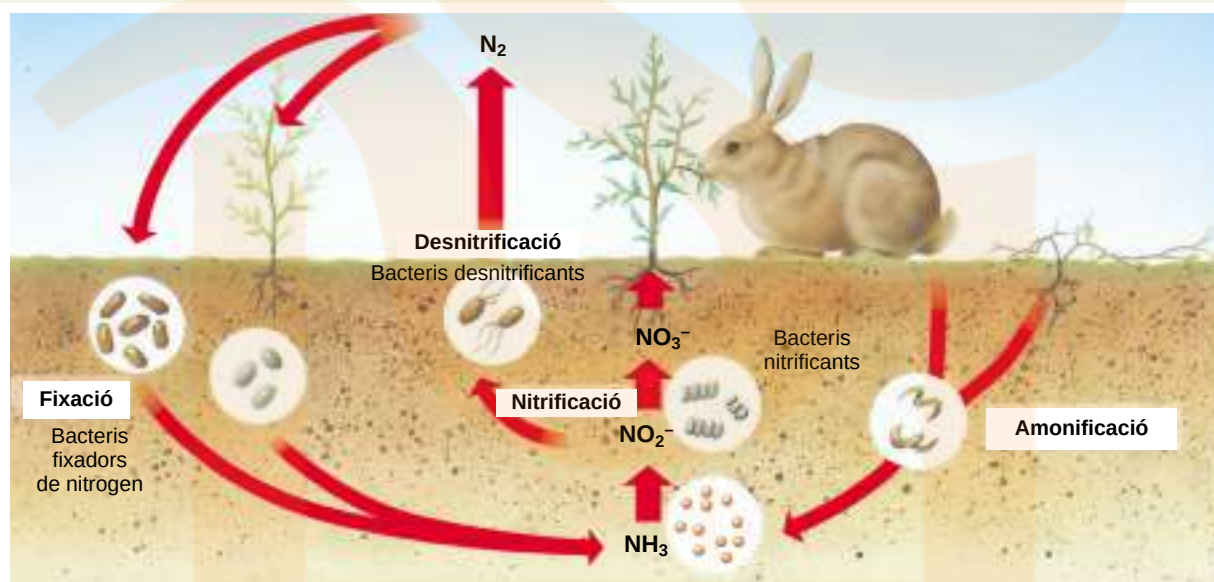
Cicle del nitrogen

El nitrogen es troba principalment en forma de gas (N_2) i constitueix el 78 % del volum de l'atmosfera.

Per als éssers vius, el nitrogen és un element imprescindible com a component de les proteïnes i dels àcids nucleics.

El nitrogen també és captat i fixat al sòl mitjançant les descàrregues elèctriques dels llamps, que dissolen el N_2 en aigua de pluja i l'incorporen al sòl en forma d'àcid nítric (HNO_3).

Els fertilitzants dels conreus també incorporen al sòl nitrats o sals d'amoni.



Els **bacteris fixadors de nitrogen** són els organismes capaços de captar-lo de l'atmosfera per mitjà de la **fixació** i transformar-lo en amoníac (NH_3).

Rhizobium és un gènere de bacteris fixadors de nitrogen que s'associa com a simbiota a les arrels de les plantes lleguminoses formant nòduls.

Azotobacter i *Clostridium* són bacteris fixadors de nitrogen que viuen lliures en el sòl.

La **nitrificació** és la transformació de l'amoníac en nitrats. Els bacteris **nitrificants** són els responsables d'aquest procés. En concret, el gènere *Nitrosomonas* transforma l'amoníac en nitrits, i el gènere *Nitrobacter* passa els nitrits a nitrats.

Una part dels nitrits retornarà novament a l'atmosfera en

forma de nitrogen gas, pel fet que són sotmesos a un procés de **desnitrificació** per part dels **bacteris desnitrificants**, com *Rhodobacter* i *Agrobacterium*.

Els nitrats són captats per les plantes, que serveixen d'aliment als animals. D'aquesta manera, el nitrogen s'incorpora a tots els éssers vius, formant part de les proteïnes i els àcids nucleics.

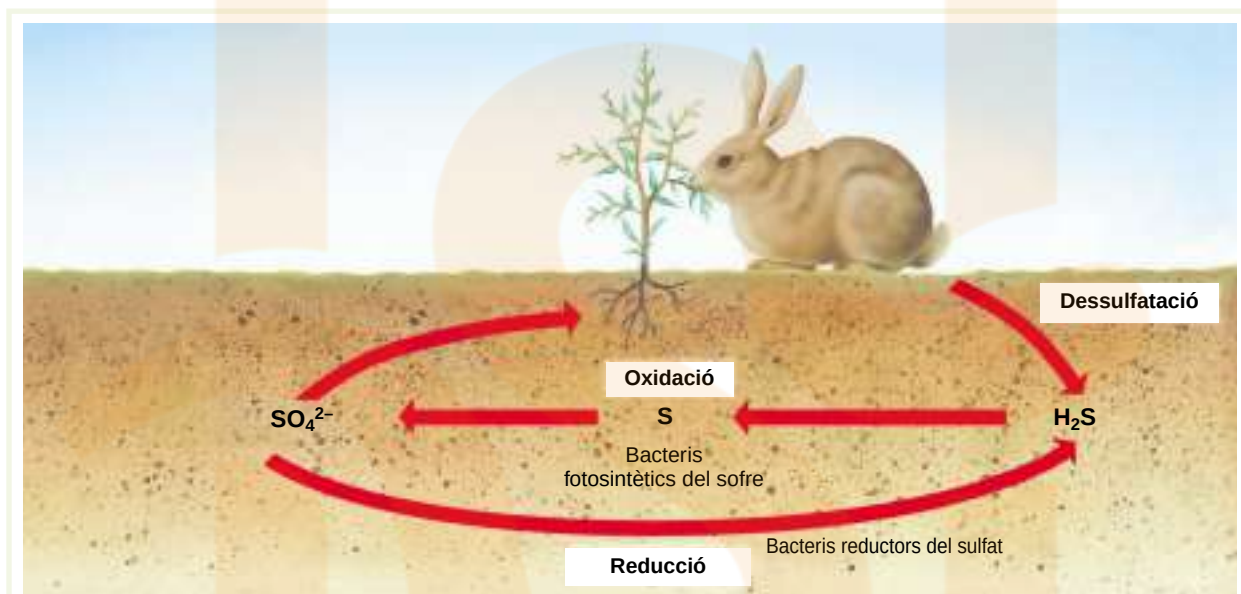
Els compostos de nitrogen que excreten els éssers vius, com també les restes procedents de la mort dels organismes, es degraden fins a NH_3 en un procés anomenat **amonificació**. Aquest procés és dut a terme per bacteris del gènere *Clostridium*.

El NH_3 pot ser transformat novament en nitrats, i així es completa el cicle.

Cicle del sofre

El sofre és un element que es troba en l'atmosfera en forma de sulfur d'hidrogen (H_2S), procedent de l'activitat dels microorganismes, i d'òxid de sofre (SO_2), que s'origina per la combustió dels derivats del petroli. En el sòl es troba en forma de sulfats (SO_4^{2-}).

El sofre és necessari per als éssers vius, en els quals es troba en forma de sulfats (SO_4^{2-}), com a component d'ossos i de closques, com també dels aminoàcids *metionina* i *cisteïna*.



El H_2S s'oxida fins a passar a SO_4^{2-} mitjançant els **bacteris fotosintètics del sofre**. En concret, el gènere *Thiobacterium* oxida el H_2S a S i, posteriorment, *Thiobacillus* oxida el sofre fins a arribar a sulfats.

Els ions SO_4^{2-} dissolts en l'aigua són absorbits per les plantes, que els incorporen a la matèria orgànica.

A continuació, passa als consumidors, per mitjà de la cadena tròfica, i s'incorpora de nou al sòl, quan la matèria orgànica es descompon.

El sofre torna al sòl pel procés de **dessulfatació**, que genera H_2S . D'aquesta manera, es completa el cicle.

Una part del SO_4^{2-} és utilitzat pels **bacteris reductors del sulfat**, que pertanyen als gèneres *Desulfovibrio* i *Desulfotomaculum*, capaços d'utilitzar els sulfats com a substrat i obtenir H_2S en condicions anaeròbiques.

El **carboni** és l'element més abundant en les molècules orgàniques. S'incorpora als organismes fotosintètics, que capten el CO_2 de l'atmosfera i el transformen en glúcids. Aquests compostos es degraden en el procés de la respiració i originen CO_2 . D'altra banda, els diversos microorganismes descomponedors actuen sobre la matèria orgànica procedent de la mort dels éssers vius, desprenent també CO_2 .

Un altre dels elements primordials per a la vida és el **fòsfor**, que es troba principalment formant part de les roques sedimentàries. Perquè sigui utilitzat pels éssers vius s'ha de solubilitzar, procés en el qual intervenen diversos grups de microorganismes. Així, s'allibera l'ió PO_4^{3-} , que pot ser absorbit per les plantes i passar a la resta dels éssers vius. Quan moren els organismes, l'ió PO_4^{3-} és alliberat ràpidament per hidròlisi i s'incorpora al sòl.



L'any 1892, el científic rus Dimitri Ivanovski va demostrar l'existència del virus que provoca la malaltia del mosaic del tabac.

Va efectuar un extracte de fulles de tabac malaltes, i el va fer passar per un filtre de porcellana, que tenia uns porus tan diminuts que no permetien el pas dels bacteris més petits.

Amb el líquid que travessava el filtre, va inocular plantes sanes, que aviat van manifestar la malaltia.

2. Virus

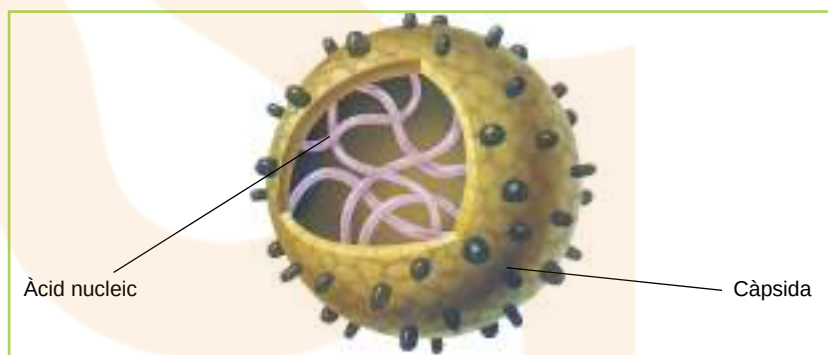
Els virus són estructures acel·lulars i no es consideren éssers vius. Les seves dimensions oscil·len entre els 20 i els 300 nm. A causa de les seves petites dimensions, no van poder ser observats fins a mitjan segle XX, quan es va inventar el microscopi electrònic. Van ser fotografiats per primera vegada el 1942.

Els virus no presenten metabolisme propi i aconsegueixen la seva reproducció com a paràsits obligats intracel·lulars dels éssers vius. Poden parasitar bacteris i cèl·lules eucariotes.

2.1. Estructura dels virus

La seva estructura és molt simple. Consten de:

- Una coberta exterior de proteïnes, anomenada **càpsida**. De vegades, també posseeixen un **embolcall extern**, que procedeix de la bicapa lipídica de la cèl·lula infectada; s'hi troben, però, proteïnes específiques del virus.
- En el seu interior contenen un **àcid nucleic**, que pot ser DNA o RNA. El DNA pot ser lineal o tancat sobre si mateix. Tant el DNA com l'RNA poden estar formats per una cadena senzilla o una cadena doble.



La càpsida està formada per subunitats proteiques anomenades **capsòmers**. La unió dels capsòmers i la seva distribució en l'espai determinen la forma del virus. Se'n distingeixen tres models bàsics:



Virus polièdrics. La càpsida està formada per nombrosos capsòmers que formen un poliedre. Aquest poliedre pot tenir moltes cares.

És el cas del virus de la **varicel·la**.



Virus helicoidals. Els capsòmers s'enrotllen en espiral formant un cilindre.

És helicoidal el virus del **mosaic del tabac**.



Virus de forma combinada. Una zona de la càpsida, anomenada cap, té forma polièdrica i una altra zona, anomenada cua, forma helicoidal.

Un exemple d'aquest tipus és el **virus T2**, que infecta bacteris.

2.2. Cicle de replicació

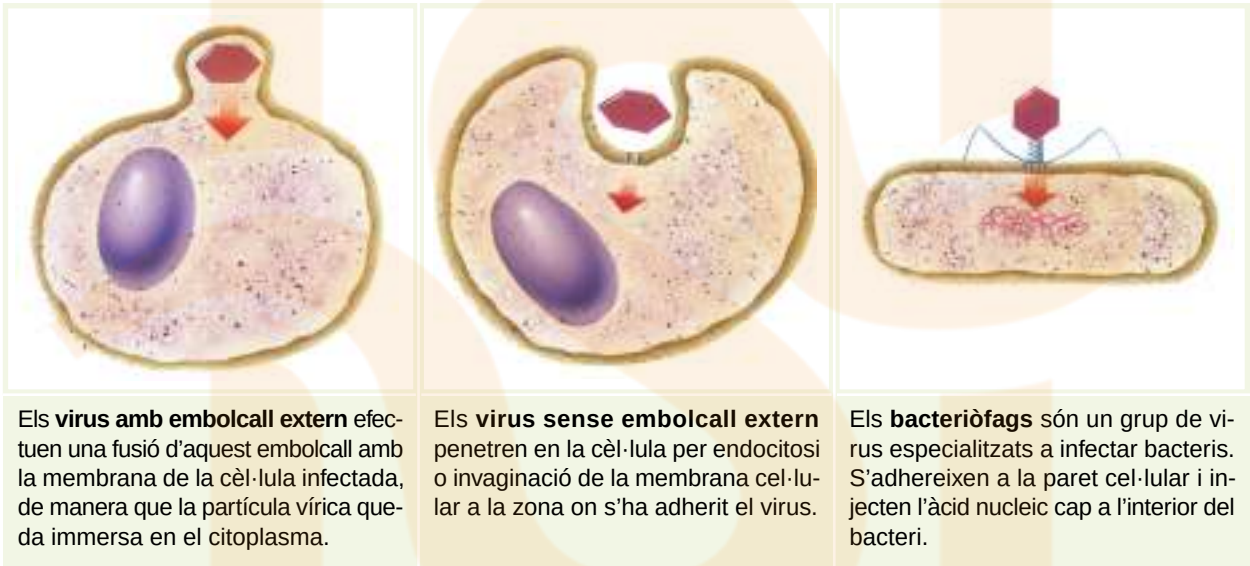
En el cicle de replicació d'un virus es distingeixen dos períodes: un període inactiu *extracel·lular* i un període infectiu *intracel·lular*.

En el **període extracel·lular** les partícules víriques no presenten cap tipus d'activitat metabòlica ni reproductiva, són totalment inerts.

Durant aquesta fase poden ser fàcilment destruïts per agents físics, com les elevades temperatures, o químics, com el lleixiu.

En el **període intracel·lular** es distingeixen diverses fases:

- **Entrada a la cèl·lula.** Per diversos mecanismes el virus penetra en la cèl·lula o bé li injecta el seu material genètic.



L'acció d'enzims proteolítics cel·lulars dissol la càpsida i deixa l'àcid nucleic del virus en contacte directe amb el citoplasma de la cèl·lula hoste.

- **Síntesi de proteïnes i replicació de l'àcid nucleic.** En aquesta fase el virus utilitza la maquinària metabòlica de la cèl·lula per a obtenir rèpliques de si mateix. A més dels gens que codifiquen per a la síntesi de les proteïnes de la càpsida, alguns virus contenen informació per a la síntesi d'enzims propis que replicaran el seu material genètic.

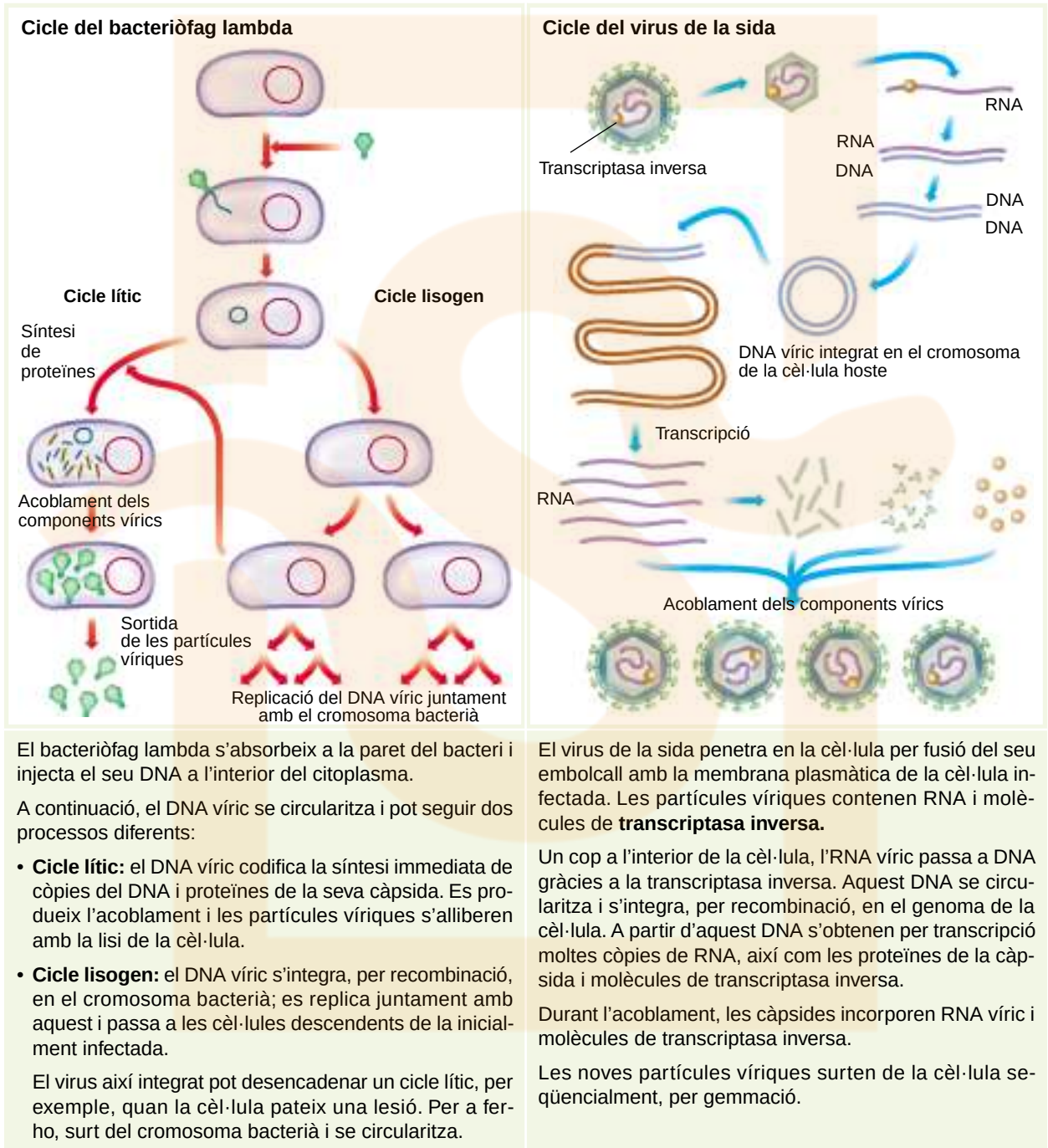
En els virus amb un genòfor de menors dimensions, els enzims utilitzats en la replicació són els característics de la cèl·lula infectada.

- **Acoblament dels components del virus.** Els components de la càpsida es polimeritzen i s'uneixen a les còpies del material genètic del virus.

D'aquesta manera es produeixen desenes de milers de còpies del virus, amb capacitat per a infectar noves cèl·lules.

- **Sortida de les partícules víriques.** Pot esdevenir-se seqüencialment, de manera que els virus surten de la cèl·lula per un procés anomenat **gemmació**, inclosos en fragments de la membrana de la cèl·lula infectada, o bé s'alliberen per lisi de la cèl·lula i la sortida de totes les partícules víriques s'esdevé alhora.

Els virus presenten gran versatilitat pel que fa a la seva reproducció. Vegem-ne dos exemples: el cicle d'un bacteriòfag i el cicle del virus de la sida.



El virus de la sida és un **retrovirus**. Es coneix amb aquest nom una família de virus que tenen com a material genètic molècules de RNA, però que les poden convertir en DNA per mitjà de l'enzim transcriptasa inversa.

Aquesta família de virus es relaciona, també, amb l'aparició de tumors malignes.

2.3. Classificació dels virus

Els virus es classifiquen en famílies. S'agrupen segons la forma de la seva càpsida, la seva mida i l'àcid nucleic que contenen.

Els virus animals, vegetals i bacterians es classifiquen separatament. Per la seva importància en relació amb les malalties infeccioses, que tractarem en la unitat següent, resumim les característiques d'algunes famílies de virus animals.

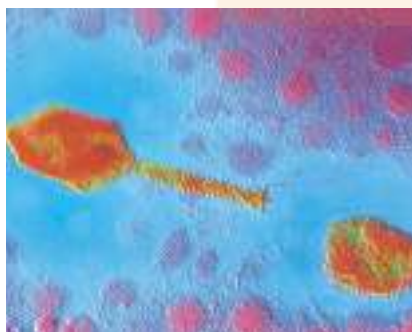
Existeixen unes partícules més petites que els virus, anomenades **prions**.

Els prions són molècules de proteïna que posseeixen la propietat de transformar-se en estructures inestables. Aquesta alteració pot causar malalties molt greus en els animals i en l'ésser humà.

Família	Forma	Mida (nm)	Àcid nucleic
Herpesvirus		200	2 cadenes de DNA lineal
Picornavirus		27	1 cadena de RNA lineal
Paramyxovirus		200	1 cadena de RNA lineal
Orthomyxovirus		110	8 cadenes de RNA lineal
Retrovirus		50	1 cadena de RNA lineal

Exercicis

5. Observa les fotografies següents i identifica a quin tipus de virus, segons la forma de la seva càpsida, corresponen.



— Quin és un virus bacteriòfag? Descriu algunes característiques d'aquest tipus de virus.



Protozou del gènere Paramecium.

3. Protozous

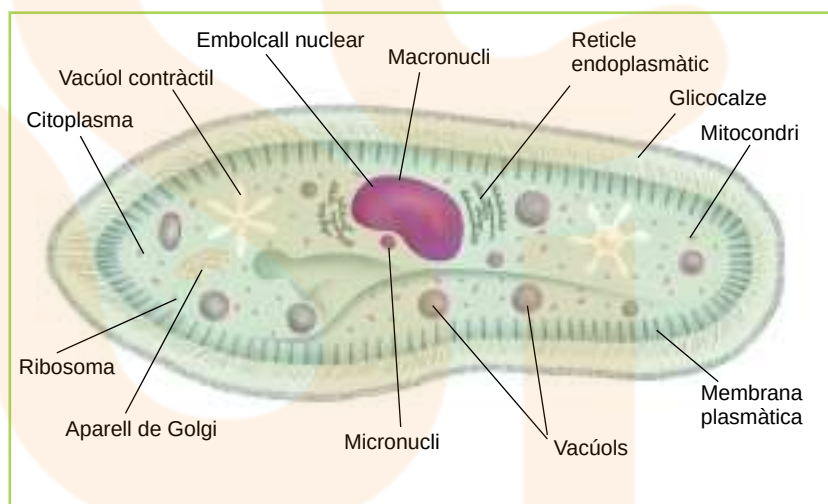
Anthony van Leeuwenhoek fou qui, en el segle XVII, va observar per primera vegada els protozous. El seu aspecte i la seva activitat van suggerir als científics el nom de **protozous** (del grec *proton* 'primer' i *zoon* 'animal'), ja que aparentaven ser petits animals primitius.

En l'actualitat, els protozous no s'inclouen dins del regne animal, sinó dins del regne dels **protocists**. Són organismes eucariotes, unicel·lulars i heteròtrofs.

Tanmateix, alguns exemplars presenten característiques típiques dels éssers vegetals, com la presència de pigments sensibles a la llum i la capacitat per a realitzar la fotosíntesi.

3.1. Estructura cel·lular

La cèl·lula dels protozous presenta les característiques pròpies d'una cèl·lula eucariota.



Membrana plasmàtica. La cèl·lula està envoltada per una membrana plasmàtica típica, és a dir, una *bicapa lipídica amb proteïnes* incloses.

En alguns grups de protozous, per la part exterior de la membrana existeix un **glicocalze**, una capa de mucopolisacàrids amb una funció protectora i que participa en les reaccions de reconeixement cel·lular.

Citoplasma. S'hi poden distingir el hialoplasma i els orgànuls envoltats de membrana.

En el **hialoplasma** és habitual diferenciar una part fluida i homogènia i una altra més viscosa, d'aspecte granular i amb abundants inclusions.

Pel que fa als **orgànuls**, podem trobar-hi els components característics de qualsevol cèl·lula eucariota animal amb les seves funcions habituals, com ara l'aparell de Golgi o el reticle endoplasmàtic. Alguns grups de protozous presenten components modificats com a conseqüència del seu mode de vida, com ara el **vacúol contràctil** que posseeixen els protozous de vida aquàtica lliure i que permet d'evacuar a l'exterior l'aigua que, per fenòmens d'osmosi, penetra a l'interior de la cèl·lula.

A més dels orgànuls, en el citoplasma es troben incusions formades per materials de reserva, com ara *polisacàrids i lípids*, i materials d'excreció diversos.

Nucli. Varia pel que fa a la forma i al nombre segons els diferents grups. En general, els protozous presenten cèl·lules uninucleades, tot i que existeixen casos de cèl·lules de grans dimensions que contenen molts nuclis.

Algunes espècies tenen dos nuclis:

- Un **micronucli**, que és diploide i no produeix RNA.
- Un **macronucli**, que és poliploide i produeix l'RNA necessari per a la síntesi de proteïnes de la cèl·lula.

Cilis i flagels. Es presenten en les espècies que es desplacen activament. La seva estructura interna està formada per microtúbuls que estan agrupats en feixos.

En nombrosos casos, els protozous posseeixen **elements esquelètics** que defensen l'organisme d'agents exteriors perjudicials i que contribueixen a mantenir-ne la forma. Poden ser interns o externs i, en alguns casos, més que un esquelet, es tracta d'un tipus de closca on l'organisme viu amb independència d'aquesta coberta.

3.2. Fisiologia dels protozous

Com en tots els éssers vius, l'activitat d'aquests organismes es pot descriure al voltant de les tres funcions vitals: *nutrició, relació i reproducció*.

Funció de nutrició

Els protozous són bàsicament organismes heteròtrofs. Distingim dos tipus de **nutrició heteròtrofa**:

- **Nutrició sapròtrofa.** Es produeix quan els protozous absorbeixen substàncies dissoltes en el medi. Aquestes substàncies poden travessar la membrana per *difusió simple*, per *transport actiu* o per *pinocitosi*, segons les dimensions de les substàncies que s'incorporen.
- **Nutrició fagòtrofa o holozoica.** Es produeix quan els protozous s'alimenten de partícules o d'altres microorganismes.

Si s'alimenten de partícules petites o bacteris, els protozous s'anomenen **micròfags**. Si s'alimenten de partícules grans, com ara fragments de vegetals o d'altres protozous, s'anomenen **macròfags**.

En aquest cas, l'aliment es pot incorporar a la cèl·lula mitjançant **pseudopodis** que envolten l'aliment i l'incorporen en el citoplasma, o per un orifici que se sol anomenar boca o **citostoma**.

Amb l'aliment incorporat de l'exterior, els protozous formen un **vacúol digestiu** en el qual s'aboquen els enzims digestius, continguts en els lisosomes, que degraden les substàncies alimentàries.

Quan la digestió ha conclòs, les restes indigeribles s'expulsen per exocitosi a través de qualsevol punt de la membrana plasmàtica o bé per un orifici especialitzat anomenat **citopigi**.



Euglypha és un protozoou que presenta una closca silícica.

La majoria de les espècies té **nutrició heteròtrofa**.

Els grups que presenten **nutrició autòtrofa** poden realitzar la fotosíntesi gràcies a la presència de **chromoplasts**, que contenen clorofil·les i altres pigments grocs i bruns.

De la fotosíntesi, n'obtenen glucosa, que transformen en midó i, en alguns casos, altres substàncies de reserva com el paramil, la leucosina o lípids.

Funció de relació

Els protozous viuen en medis líquids, ja sigui en aigües dolces, en aigües marines o en els líquids corporals dels animals. En general, es mouen en aquests medis d'una manera molt activa buscant l'aliment i les condicions ambientals més adequades.

Aquest tipus de moviments s'anomenen **tactismes** i són una clara manifestació de la funció de relació. Els protozous presenten **quimiotactisme** i **geotactisme**, entre d'altres.

Les estructures especialitzades en el **moviment** són els *pseudopodis*, els *cilis* i els *flagels*.

Els **pseudopodis** se solen presentar en els protozous que no tenen coberta externa i, per tant, poden deformar la superfície cel·lular. A més d'intervenir en el procés de nutrició, permeten el moviment de l'organisme. L'emissió dels pseudopodis es deu a canvis en la consistència del citoplasma i a la participació de fibres del citoesquelet.

En alguns grups amb coberta esquelètica, els pseudopodis s'emeten a través de petits orificis d'aquestes cobertes i s'estenen al voltant del protozou.

Els **cilis** i **flagels**, l'estructura dels quals està formada per microtúbuls, es mouen de maneres diferents:

- Els cilis es mouen en dos temps: primerament, baten amb força l'aigua i provoquen el desplaçament de la cèl·lula; a continuació, recuperen la posició inicial amb un moviment lent.
- Els flagels es mouen a partir d'un moviment ondulatori constant que s'origina en la seva base i recorre tota la longitud del flagel.

Les cèl·lules que contenen cilis acostumen a tenir-ne en gran nombre, distribuïts per tota la cèl·lula o localitzats en zones específiques com al voltant de la boca. Les que tenen flagels en presenten un nombre reduït, normalment 1 o 2, i sempre en regions concretes de la cèl·lula; aquests flagels poden desaparèixer en alguna fase del cicle vital.

En els grups que no presenten òrgans especialitzats en el moviment, es produeixen contraccions i flexions de la cèl·lula que impulsen l'organisme.

En alguns grups es formen **quistes** com a formes de resistència en períodes de condicions desfavorables.

Quan les condicions ambientals tornen a ser favorables, el quist absorbeix aigua, la seva coberta s'obre i s'allibera el protozou.

Funció de reproducció

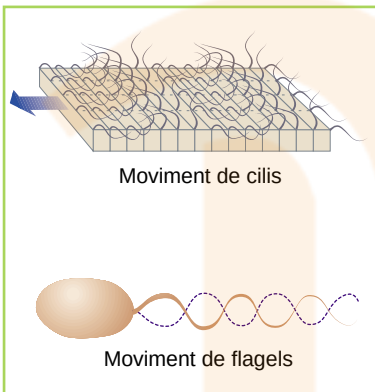
Els protozous presenten sistemes de reproducció asexual i sexual.

Reproducció asexual

És el tipus de reproducció més freqüent.

Es pot produir per **divisió binària**:

- El nucli de la cèl·lula es divideix, mitjançant mitosi, per originar dos nuclis amb idèntica dotació genètica.
- Al mateix temps, duplica els seus òrgans cel·lulars i, finalment, es divideix originant dos individus fills genèticament idèntics.

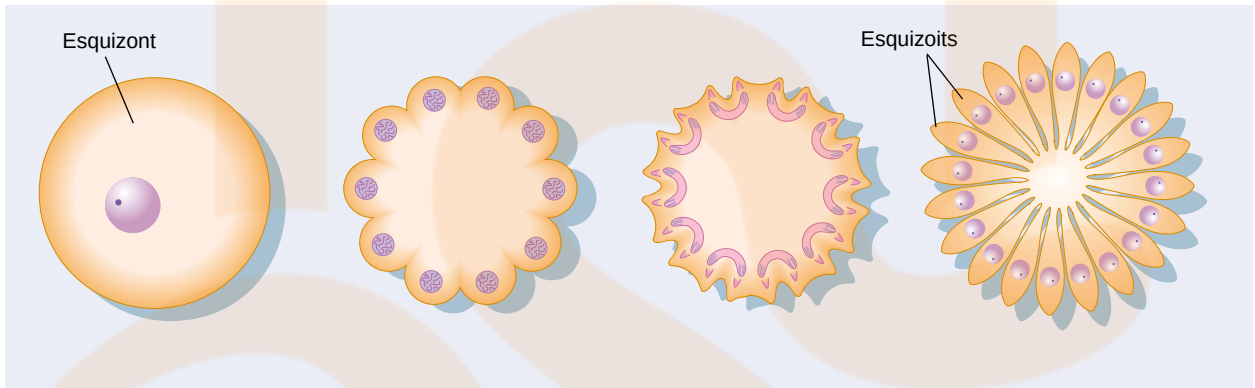


Dos exemples d'una divisió binària: a dalt, una divisió longitudinal; a baix, una divisió transversal.

També es pot presentar una **divisió múltiple**. En aquest cas:

- La divisió del nucli no va seguida de la divisió del citoplasma, sinó d'una nova divisió dels nuclis fills.
- El procés es repeteix diverses vegades, de manera que s'obtenen cèl·lules amb nombrosos nuclis, anomenades **esquizonts**.
- Finalment, cada nucli s'envolta d'una part de citoplasma que conté els orgànuls imprescindibles i es divideix per a formar tantes cèl·lules filles o **esquizoits** com nuclis conté.

Aquest procés també s'anomena **esquizogònia**.



En alguns grups, la reproducció asexual pot ser també per **gemmació**. Per aquest procediment:

- Sobre la superfície de l'organisme es defineix un bony o **gemma** que va augmentant de mida.
- La gemma es desenvolupa fins a assolir les característiques d'un individu adult. A partir d'aquest moment es pot desprendre i adoptar una manera de vida lliure.



Gemmació.

Reproducció sexual

Aquest tipus de reproducció comporta la unió de dues cèl·lules anomenades **gàmetes** que es fusionen i originen un **zigot**. El desenvolupament del zigot dóna lloc a un nou individu.

Els gàmetes poden ser de característiques molt similars, anomenats **isogàmetes**, o bé molt diferents o **anisogàmetes**. S'anomena **isogàmia** o **anisogàmia** la unió de cada tipus de gàmetes.

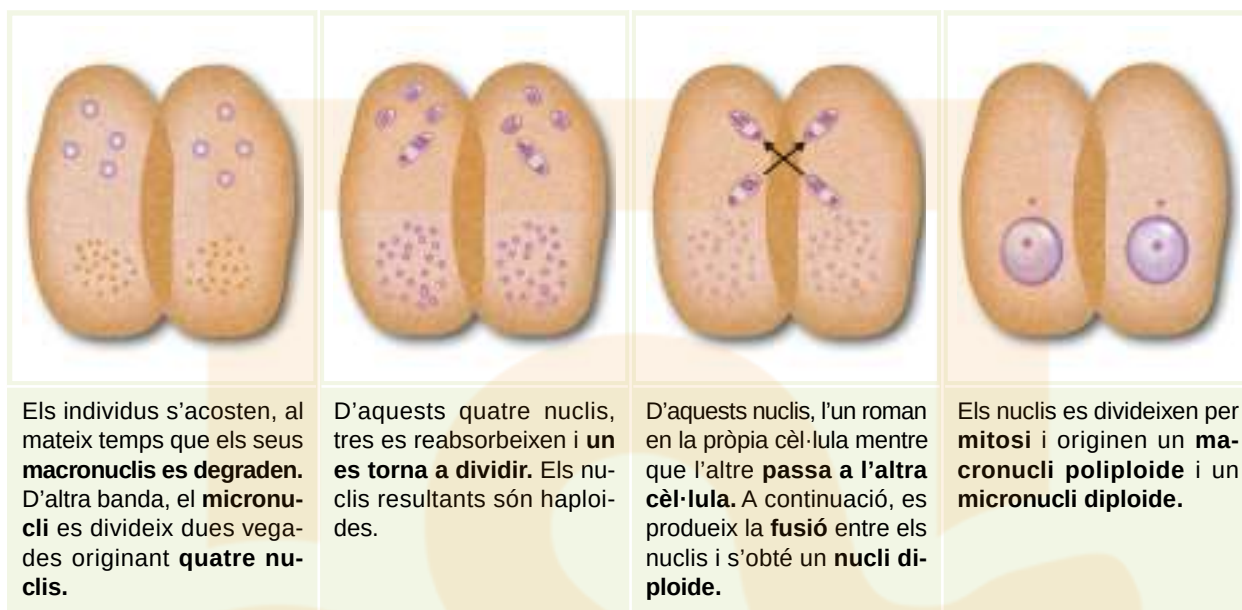
Per tal de mantenir constant el nombre de cromosomes de l'espècie, en algun moment del cicle vital es produeix la **meiosi**.

Molts protozous es reproduïen de manera asexual un nombre indefinit de generacions. Tanmateix, és molt més habitual que es presentin **cicles biològics** en els quals es produeixen fenòmens de reproducció asexual que s'alternen amb processos de reproducció sexual.

D'altra banda, en els grups de protozous que presenten macronucli i micronucli es produeix la **conjugació**, és a dir, un intercanvi de material genètic entre dues cèl·lules.

Plasmodi vivax és el protozou causant de la malària o paludisme. El seu **cicle biològic** suposa el pas per dos hostes diferents: el mosquit *Anopheles* i l'ésser humà. En el primer es desenvolupa la part del cicle que implica la reproducció sexual i en el segon, l'asexual.

Vegem com es desenvolupa el procés de la conjugació:



Exercicis

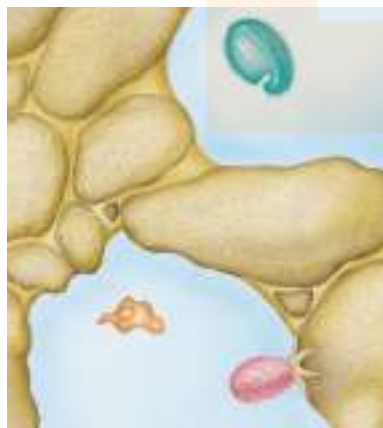
- Resumeix en un text breu les característiques fonamentals dels processos de nutrició, relació i reproducció dels protozoous. Fixa't en les paraules en lletra negra.
 - Utilitza el text que has elaborat per tal de recordar els aspectes fonamentals d'aquesta informació.

3.3. Ecologia

Els protozoous han colonitzat ambients molt diversos. Tanmateix, en general, depenen de l'**aigua**. Per aquesta raó, són característics de les aigües dolces i marines, dels sòls i terrenys humits, i dels líquids corporals dels animals o l'interior de les seves cèl·lules. A més, són organismes aeròbics i, per tant, requereixen **oxigen** per a viure.

La distribució dels protozoous de **vida lliure** està condicionada per diversos factors:

- En general, poden viure en un **marge estret de temperatures**, tret que presentin formes de resistència.
- Poden habitar en **aigües dolces o marines**.
- La majoria dels grups es desenvolupa bé en un **pH neutre (7)** o lleugerament àcid.
- La **quantitat** i el **tipus d'aliment** fan que, per exemple, els protozoous fagòtrofs siguin molt abundants en les aigües contaminades, mentre que els fotosintètics es troben en aigües riques en substàncies inorgàniques i ben il·luminades.
- Els protozoous habitants del sòl es troben en capes superficials d'aquest, on l'**aigua de la pluja** s'acumula en petits bassals o queda retinguda entre la fullaraca.



En el sòl habiten nombroses espècies de protozoous. Es troben adherits a les partícules del sòl o nedant en l'aigua que ocupa els porus.

Juntament amb els bacteris i els fongs, els protozoous de vida lliure participen en la descomposició de la matèria orgànica, un procés fonamental per al manteniment de la vida a la Terra.

Els protozous que viuen a l'**interior del cos de l'hoste** són **sapròtrofs** si absorbeixen molècules o fluids; és el cas de *Plasmodium*, que capta l'hemoglobina dels glòbuls vermells. Si s'alimenten de partícules grans, són **fagòtrofs**, com els que viuen en l'intestí dels tèrmits, que digereixen la cel·lulosa que aquests insectes devoren.

D'altra banda, segons la seva relació amb l'hoste, poden ser:

- **Comensals**, quan s'aprofiten de substàncies alimentàries sense causar benefici ni perjudici a l'hoste.
- **Simbionts**, quan de l'associació en resulten beneficiats els dos organismes.
- **Paràsits**, quan l'associació perjudica l'hoste.

Els protozous paràsits han desenvolupat diverses adaptacions per tal d'accedir a l'interior del cos del seu hoste.

- **Penetrar a través del sistema digestiu.** Aquesta estratègia és molt efectiva, però els obliga a crear **formes de resistència** per tal de suportar el trànsit pel tub digestiu i la dispersió posterior fins a infectar un nou hoste.
- **Infectar dos animals**, per tal d'evitar, d'aquesta manera, que una part del cicle vital es desenvolupi a l'aire lliure. És l'únic mitjà de vida possible per a tots aquells protozous que s'han habituat a viure a l'interior dels organismes i **no presenten formes de resistència** en les fases en què s'han de transferir d'un organisme a un altre.

3.4. Classificació dels protozous

Atesa la gran variabilitat de formes que s'inclouen en aquest grup, és difícil d'establir una classificació. A continuació, descrivim algunes característiques dels principals grups de protozous:

Grup	Funció de nutrició	Funció de relació	Funció de reproducció	Ecologia	Exemples
Flagel·lats	Fagòtrofs	Un o nombrosos flagels	Asexual (divisió binària) Sexual	Vida lliure Simbionts Paràsits	<i>Trypanosoma leishmania</i>
Rizòpodes	Fagòtrofs	Pseudopodis (flagels en alguna fase del cicle)	Asexual (divisió binària) Sexual	Vida lliure Paràsits	<i>Amoeba elphidium</i>
Ciliats	Sapròtrofs	Cilis	Asexual (divisió binària)	Vida lliure Paràsits	<i>Paramecium epidinium</i>
Esporozous	Sapròtrofs	Immòbils o amb moviment lliscant	Asexual (divisió múltiple) Sexual	Paràsits	<i>Plasmodium toxoplasma</i>

Exercicis

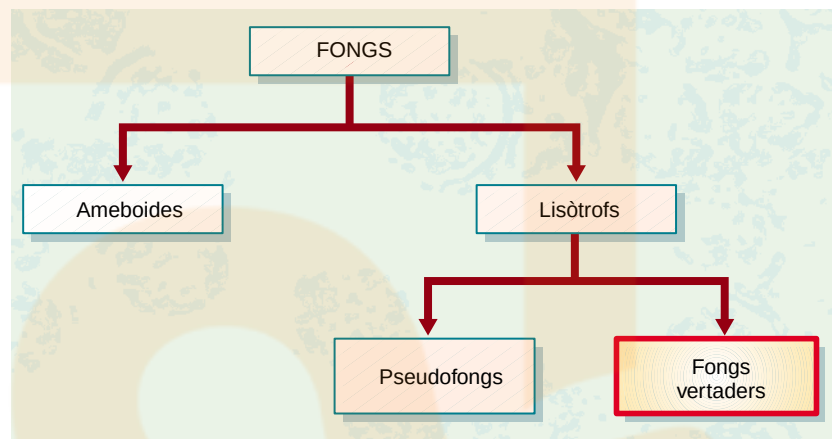
7. Raona per què alguns protozous s'utilitzen en les plantes depuradores d'aigües residuals.
8. Tria un tipus de protozou dels esmentats en els exemples anteriors. Busca'n informació i elabora una fitxa com les anteriors sobre la seva estructura, tipus de nutrició, formes de reproducció i mode de vida.



Entre els fongs ameboides es troba el grup dels mixomicets.

4. Fongs

S'acostuma a anomenar fongs un grup molt heterogeni d'éssers vius. Per tal de centrar el tema d'aquesta part de la unitat, diferenciem diversos tipus d'organismes inclosos en aquest grup.



Tots els fongs estan constituïts per cèl·lules eucariotes i són heteròtrofs. Les diferències entre els diversos tipus s'estableixen, bàsicament, per la seva estructura i la manera com capten l'aliment.

Els **fongs ameboides** són un grup de fongs l'estructura dels quals recorda la de les amebes. Estan formats per cèl·lules sense paret i pluri-nucleades; la majoria de les espècies capta l'aliment per **fagocitosi**.

La resta dels organismes coneguts com a fongs correspon al grup dels fongs **lisòtrofs**. Tenen una **estructura filamentosa**, amb **paret cel·lular** exterior a la membrana plasmàtica. Són heteròtrofs però, a diferència dels fongs ameboides, realitzen **digestió externa** o **lisotròfia**. Secreten les substàncies necessàries per a la digestió de l'aliment i, després, absorbeixen els nutrients que resulten de la digestió.

Tot i que que aparentment s'observa una considerable semblança entre tots els fongs lisòtrofs, se'n poden distingir dos grups: els *pseudofongs* i els *fongs vertaders*.

Els **pseudofongs** es caracteritzen per la presència de la cel·lulosa com el component més abundant de la paret cel·lular, mentre que en els **fongs vertaders** el component més abundant és la **quitina**.

L'objectiu d'aquesta part de la unitat és l'estudi detallat dels fongs vertaders, un grup d'éssers vius considerat per la majoria dels especialistes com un regne propi, el regne dels **fongs**.

Entre els pseudofongs es troben alguns paràsits de plantes terrestres, com *Plasmopara viticola*, responsable de la malaltia del míldiu de la vinya.

4.1. Estructura cel·lular

Entre els fongs vertaders es pot distingir una **estructura miceliar** i una **estructura levuriforme**.

Estructura miceliar

L'aparell vegetatiu consta, en general, de filaments allargats, anomenats **hifes**, que contenen nombrosos nuclis i una paret exterior a la membrana plasmàtica.

El conjunt de les hifes forma el **miceli**. Gràcies al gran poder de penetració de les hifes, el miceli es troba en permanent activitat, creixent, ramificant-se i explorant el substrat.

Les **hifes** poden estar septades i, de vegades, els septes de separació apareixen perforats. La **zona apical** és l'extrem pel qual les hifes creixen i s'estenen pel substrat. En les hifes es distingeixen:

- La **paret**, que dóna forma a les hifes i els proporciona consistència i resistència als canvis de pressió osmòtica. Està formada per dos tipus de components:
 - Components **fibril·lars**, principalment **quitina**.
 - Components **matricials**, sobretot **polisacàrids** que omplen buits i donen gruix.

Hi ha fongs unicel·lulars que no tenen paret com a conseqüència de la seva adaptació a la vida com a paràsits endocel·lulars.

- La **membrana plasmàtica**, que està íntimament lligada a la paret. En alguns casos forma invaginacions amb aspecte de vesícula.
- El **citoplasma**, que conté els orgànuls característics de les cèl·lules eucariotes: mitocondris, reticle endoplasmàtic, etc.

En el citoplasma també es presenten incusions diverses com grànuls de substàncies de reserva, principalment de glicogen i d'esterol.

- Els **nuclis**, que són petits i, sovint, **haploides**.

Els micelis d'alguns fongs es poden modificar per a augmentar el seu poder de colonització, tal com succeeix en els cordons miceliars i en les estructures rizomorfes.

Els **cordons miceliars** són agrupacions d'hifes que, en comptes de créixer ramificant-se, creixen en paral·lel.

En les **estructures rizomorfes**, les hifes es desenvolupen de manera que recorden l'arrel d'una planta superior; s'hi pot distingir clarament l'extrem per on creixen.

Estructura levuriforme

Alguns grups de fongs tenen, de manera permanent, una estructura unicel·lular, també anomenada levuriforme. Habitualment se'ls coneix com a **llevats**.

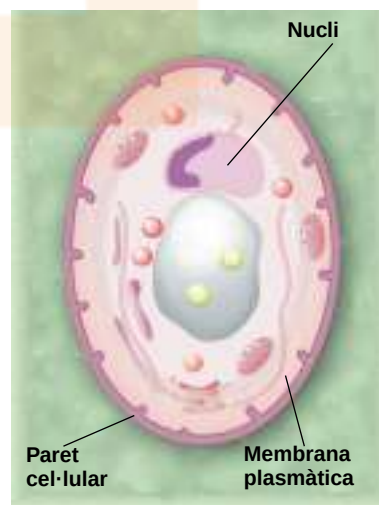
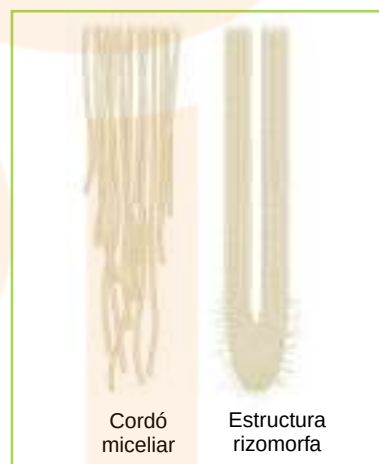
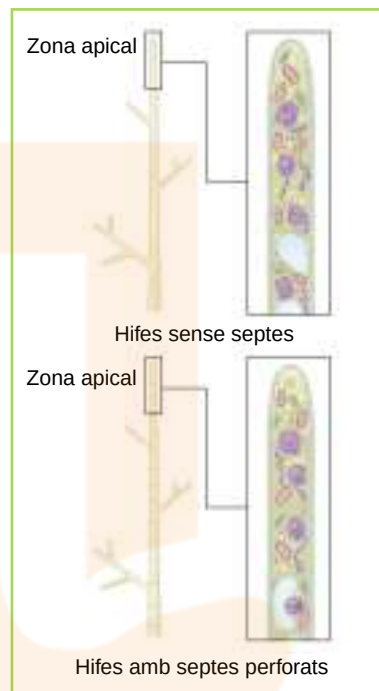
La cèl·lula dels llevats té forma ovalada; hi ha espècies amb **paret cel·lular** i espècies que no la presenten.

Les cèl·lules contenen la resta dels orgànuls propis d'una cèl·lula eucariota. Com a **inclusions** solen contenir materials de reserva com ara lípids i polifosfats.

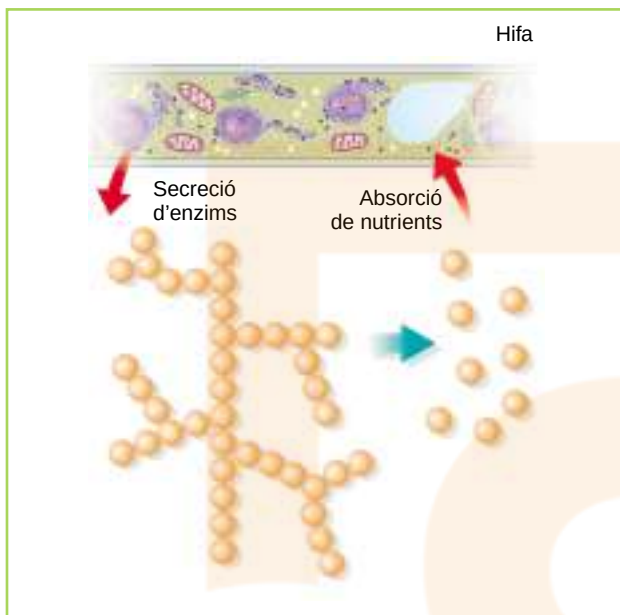
Les cèl·lules poden ser **haploides** o **diploides**; les cèl·lules diploides són una mica més grans i més actives que les cèl·lules haploides.

De vegades, les cèl·lules apareixen unides formant cadenes curtes.

Certes espècies de fongs presenten una estructura levuriforme només en alguna fase del seu cicle biològic.



Cèl·lula de llevat.



Digestió externa.

4.2. Fisiologia dels fongs

Distingirem les funcions de *nutrició*, *relació* i *reproducció*.

Nutrició

Tots els fongs es nodreixen a partir de matèria orgànica present en el medi o en altres éssers vius.

Els **fongs sapròfits** aprofiten la matèria orgànica procedent de restes de vegetals o d'animals.

Els **fongs paràsits** utilitzen la matèria orgànica d'organismes vius.

A causa d'aquesta capacitat per a degradar substàncies procedents d'altres éssers vius, tenen gran importància en el reciclatge de matèria en els ecosistemes.

En els fongs vertaders, la captació de l'aliment més característica es produeix per **digestió externa**: les hifes aboquen a l'exterior enzims que digereixen l'aliment i, posteriorment, absorbeixen el producte d'aquesta digestió. A continuació, les hifes creixen i s'estenen cap a una nova font d'aliment.

En absència d'oxigen, moltes espècies de fongs vertaders produeixen **fermentacions**. Les fermentacions es produeixen a l'interior de les cèl·lules; per això utilitzen substrats que puguin ser absorbits per aquestes cèl·lules, com en el cas de les molècules de glúcids de petites dimensions. El resultat d'aquestes fermentacions és l'obtenció de substàncies com l'acetaldehid o l'alcohol etílic.

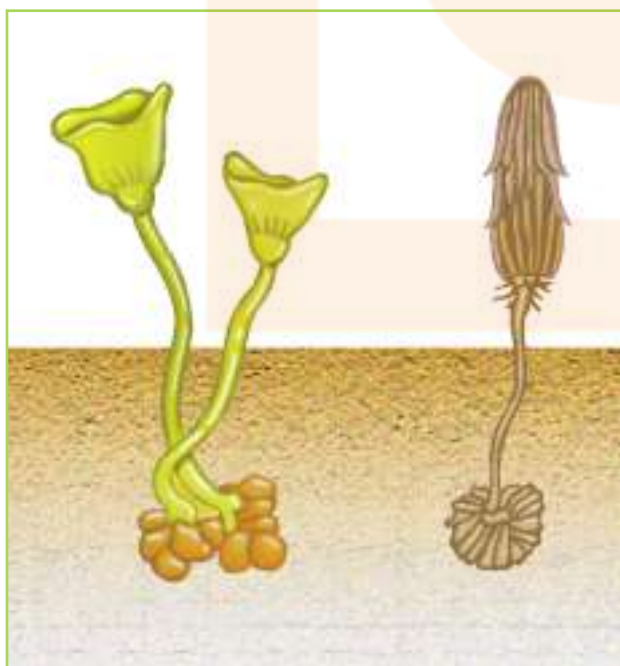
Els llevats tenen un metabolisme predominantment fermentatiu i s'han utilitzat des de fa molt temps en l'elaboració de productes alimentaris com el pa, el vi i la cervesa.

Relació

Els fongs vertaders elaboren formes de resistència com a resposta a les condicions adverses de l'ambient. Les més freqüents són els **esclerocis** i les **clamidòspores**.

Totes dues es formen a partir d'una porció del miceli que s'envolta de parets gruixudes. En el seu interior acumulen substàncies de reserva com glicogen o manitol. Resisteixen condicions de sequera i temperatures extremes, i poden conservar la seva capacitat de regeneració durant anys.

Quan les condicions ambientals són desfavorables, els fongs produeixen substàncies com ara els antibiòtics, els alcaloides, etc., algunes de gran interès comercial.



Escleroci, després d'originar cossos fructífers de diversos fongs.

Reproducció

Els fongs vertaders presenten reproducció asexual i sexual.

Reproducció asexual

Es pot produir per diversos procediments:

- Per **gemmació**, com en el cas dels llevats.
- Per **clamidòspores**, ja que aquestes formes de resistència també es poden considerar formes de reproducció asexual.
- Per **espores**, originades per mitosi.

Aquestes espores poden ser flagel·lades i s'anomenen **zoòspores** o **planòspores**, o bé sense flagels i s'anomenen **aplanòspores**. Segons la manera com es produeixen, es distingeixen les *esporangiòspores* i les *conidiòspores*:

- Les **esporangiòspores** es formen a l'interior d'una cèl·lula especial anomenada **esporangi** després de la divisió del nucli per mitosi. Per aquesta raó s'anomenen, també, **endòspores**.
- Les **conidiòspores** o **conidis** són espores d'origen exogen, per la qual cosa també s'anomenen **exòspores**.

Els fongs produeixen una gran quantitat d'espores quan les condicions ambientals són favorables. D'aquesta manera, l'espècie es dispersa i n'augmenta l'extensió.

Quan una espora germina, emet un **tub germinatiu** que ràpidament es ramifica i s'estén pel substrat formant un garbuix de filaments que constitueix el miceli i, en conjunt, es distribueix sobre el substrat en forma de disc.

Reproducció sexual

En la reproducció sexual intervenen uns òrgans específics anomenats **gametangis** que, per meïosi, originen els **gàmets** haploides. La unió dels gàmets s'esdevé en dues etapes:

- La **plasmogàmia**, que és la fusió dels citoplasmes dels gàmets.
- La **cariogàmia**, que és la fusió dels nuclis.

La fusió dels nuclis origina el **zigot**.

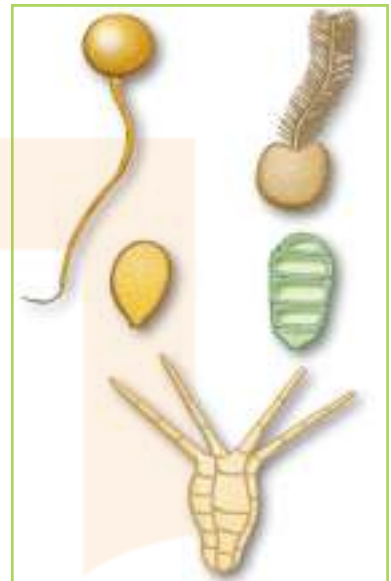
En els fongs més evolucionats, la plasmogàmia i la cariogàmia estan separades en el temps. Després de la plasmogàmia s'origina un miceli format per cèl·lules amb dos nuclis; aquesta fase es coneix com a **fase dicariont**.

En analitzar el procés evolutiu dels fongs vertaders, s'observa una tendència a simplificar el procés de reproducció. Aquesta simplificació és una mostra de la seva progressiva adaptació a la vida terrestre.

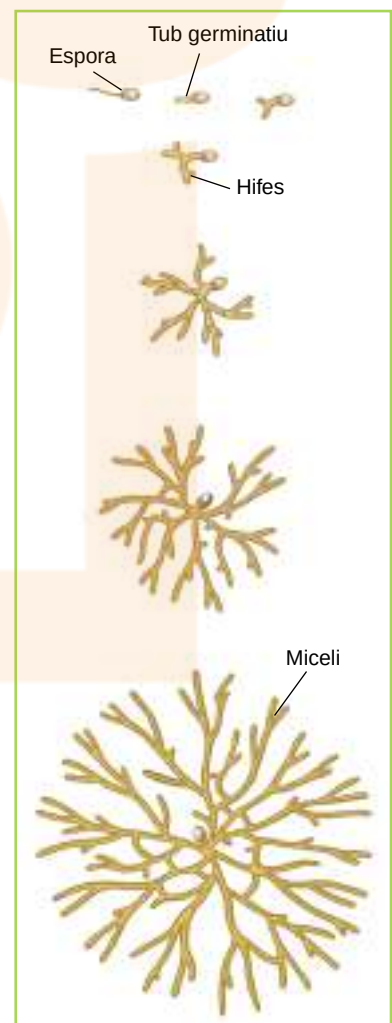
- En els grups menys evolucionats, els gàmets solen tenir flagels que les permeten de nedar.

Si els gàmets són iguals, s'anomenen **isogàmets**. Si són diferents, però els dos mòbils, s'anomenen **anisogàmets**. Si un dels gàmets és immòbil, s'anomenen **oogàmets**. En aquest darrer cas, el gametangi masculí s'anomena **anteridi** i el femení, **oogoni**.

La unió dels gàmets origina un zigot que acostuma a ser flagel·lat i que es desplaça nedant.



Alguns exemples de planòspores i aplanòspores.



Germinació d'una espora i desenvolupament del miceli.



Formació d'ascòspores i de basidiòspores. A sota, estructura d'un basidiocarp; destaquen en l'himeni els basidis i les basidiòspores.

- El pas següent en la simplificació es produeix en grups una mica més evolucionats, en els quals es produeix un intercanvi dels nuclis dels gametes en els gametangis. Per a fer-ho, els nuclis es desplacen a través d'un porus o d'un tub que posa en contacte els dos gametangis. Aquest procés s'anomena **contacte gametangial**.
- En els grups més evolucionats es fusionen els gametangis. En aquest cas es parla de **gametangiogàmia**.
- Finalment, en els grups de fongs més ben adaptats a la vida terrestre es produeix la fusió de cèl·lules vegetatives indiferenciades. Aquest procés s'anomena **somatogàmia** i origina un miceli dicariòtic (amb cèl·lules amb dos nuclis) en el qual posteriorment es produiran la fusió dels nuclis i la formació de les espores.

Els fongs més evolucionats produeixen els **carpòfors** o **cossos fructífers** que corresponen als populars **bolets**.

Els carpòfors són òrgans que faciliten la dispersió de les espores. Són una agrupació d'hifes que inclouen les cèl·lules productores d'espores.

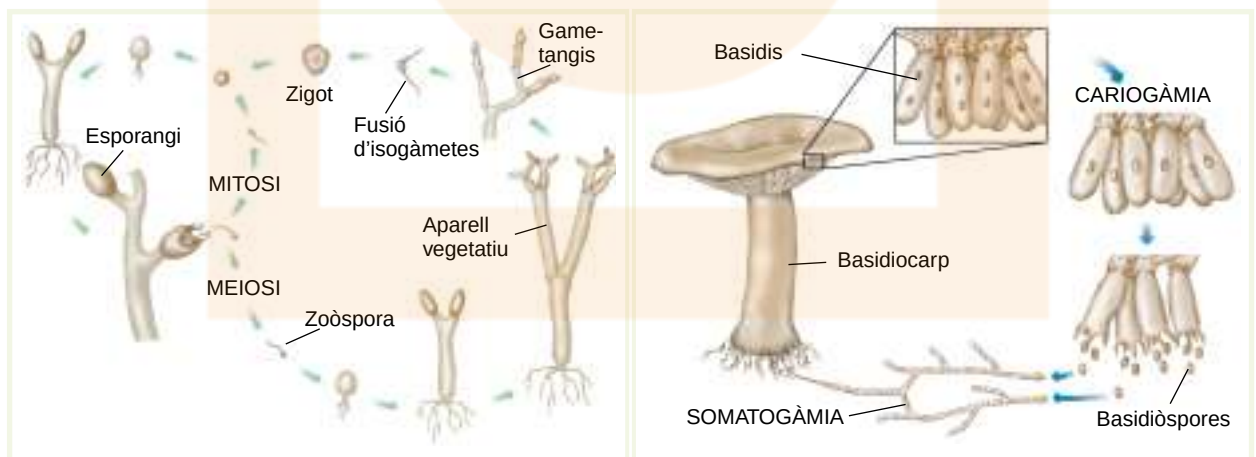
L'**himeni** és una fina capa de cèl·lules del carpòfor que conté les cèl·lules productores de les espores.

Els carpòfors poden ser ascocarps o basidiocarps, segons que continuïn ascus o basidis.

Els **ascos** són les cèl·lules que produeixen **ascòspores**. Els **basidis** són cèl·lules que originen **basidiòspores**.

Els ascocarps i els basidiocarps presenten una gran variabilitat de formes, mides i coloracions que permeten d'identificar nombroses espècies de fongs.

En els fongs, la reproducció asexual i la sexual s'alternen en nombrosos cicles biològics, tal com es pot observar en els exemples següents.



La germinació de la **zoòspora** origina un aparell vegetatiu **haploide** en el qual es diferencien els **gametangis**. Aquests produeixen **isogàmetes** que es fusionen per tal de formar un **zigot diploide**. El desenvolupament d'aquest zigot produeix un aparell vegetatiu en el qual es diferencien els **esporangis**. Segons el tipus de divisió cel·lular que hi té lloc, es produeixen espores diploides (per mitosi) o espores haploides (per meiosi); aquestes darreres són zoòspores.

La germinació de les **basidiòspores** produeix un **miceli monocariòtic**. Entre dos micelis es produeix la **somatogàmia**, de manera que s'origina un **miceli dicariòtic** per plasmogàmia. En aquest miceli es diferencia un **basidiocarp** en l'himeni del qual se situen els basidis. En els basidis es produeix la **cariogàmia**, que origina nuclis diploides i, a continuació, es formen les **basidiòspores** haploides per meiosi.

4.3. Ecologia

Els fongs vertaders depenen d'una sèrie de factors que condicionen la seva distribució en els ecosistemes.

- Generalment poden viure a temperatures que oscil·len entre 10 i 40 °C, tot i que les **temperatures òptimes** estan entre 25 i 35 °C.
- Se solen desenvolupar bé a un **pH** entre 5,5 i 7,5.
- En la seva majoria són **aeròbics estrictes**. Alguns són **aeròbics facultatius** i d'altres, **anaeròbics obligats**.
- Tenen una **gran dependència de l'aigua**, per això habiten en ambients aquàtics o molt humits.

Es troben fongs tant en les grans masses oceàniques com en els rius, els llacs i l'aigua que reté el sòl.

Els boscos humits són els ecosistemes terrestres on hi ha una major quantitat i varietat de fongs.

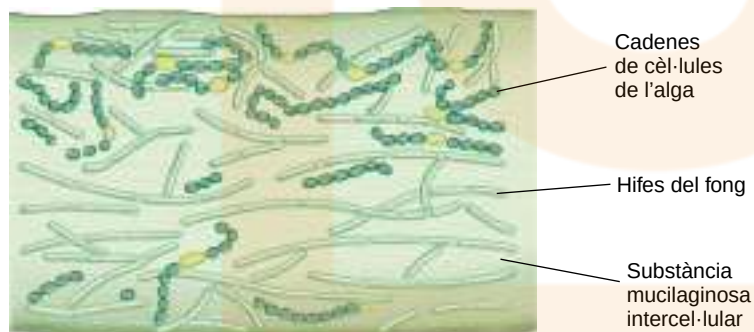
Existeixen fongs **simbionts**, com ara els fongs que formen les micorizes o els que constitueixen els líquens.

Les **micorizes** són associacions simbiòtiques entre un fong i les arrels d'una planta.

El fong obté glúcids i altres substàncies metabòliques sintetitzades per la planta i li cedeix substàncies fosfatades i nitrogenades.

Presenten micorizes nombroses espècies d'arbres, com ara pins, avets, cedres, castanys, etc.

Els **líquens** estan formats per un fong i una alga o una cianofícia. En la il·lustració següent es mostra una possible estructura de l'associació d'aquests organismes.



Gràcies a aquesta simbiosi, l'alga pot constituir un aparell vegetatiu i diverses estructures reproductives, mentre que el fong obté un ambient humit i aprofita els productes de la fotosíntesi de l'alga.

Existeixen nombroses espècies paràsites de vegetals; de fet, entre el 70 i el 80% de les malalties que es presenten en les plantes conreades es deuen a fongs.

Els fongs paràsits d'animals infecten nombroses espècies, principalment d'insectes, aus i mamífers. Provoquen malalties anomenades **micosis**.

Entre els fongs que formen bolets, s'hi troben nombroses **espècies comestibles**, molt apreciades des del punt de vista culinari.

Hi ha nombroses plantes, principalment arbres, que no es desenvolupen si no s'infecten amb la micoriza corresponent.

Actualment, en els hivernacles i planters s'infecta els arbres en creixement abans de plantar-los en el seu lloc definitiu en l'ecosistema.



Liquen que creix sobre una roca.



4.4. Classificació dels fongs

A continuació descrivim algunes característiques dels principals grups de fongs vertaders.

Grup	Estructura cel·lular	Funció de nutrició	Funció de reproducció	Ecologia	Exemples
Quitridomicets	Miceli primitiu Hifes no septades	Paràsits Sapròfits	Asexual (zoòspores) Sexual (isogàmetes)	Aquàtics	<i>Olpidium chitridium</i>
Zigomicets	Miceli plurinucleat Hifes no septades	Paràsits Sapròfits	Asexual (esporangiospores o clamidospores) Sexual (gametangioogàmia)	Terrestres	Inclou la majoria de les floridures . <i>Mucor</i> <i>acaalospora</i>
Ascomicets	Miceli d'hifes ramificades i septades. Alguns presenten estructura levuriforme.	Paràsits Sapròfits	Asexual (conidis o gemmació) Sexual (contacte gametangial, gametangioogàmia o fusió de cèl·lules vegetatives)	Terrestres	Inclou la majoria de les llevats i els fongs que formen part dels líquens . <i>Aspergillus</i> <i>penicillium</i>
Basidiomicets	Miceli dicariòtic d'hifes septades. Alguns presenten estructura levuriforme.	Simbionts Alguns paràsits	Asexual (espores) Sexual (somatogàmia)	Terrestres	Inclou la majoria de les bolets comestibles. <i>Amanita</i> <i>agaricus</i>
Deuteromicets	Miceli d'hifes septades	Sapròfits Paràsits	Asexual (conidis)	Terrestres Aquàtics	<i>Volutella</i> <i>citospora</i>

Exercicis

- Analitza la informació sobre els cicles biològics dels exemples anteriors i compara'ls.
 - Comenta quin dels dos fongs correspon a un grup més evolucionat i explica per què.
- Segons la descripció del fong següent, dedueix a quin grup dels descrits anteriorment pertany.

Rhizopus stolonifer

 - Presenta miceli sense septes.
 - Es reproduïx asexualment mitjançant esporangiospores.
 - La reproducció sexual es produeix per gametangioogàmia.
 - Creix sobre aliments, especialment el pa.
- Busca informació sobre el fong *Saccharomyces cerevisiae* i elabora un breu informe on constin:
 - Estructura del seu aparell vegetatiu.
 - Reproducció asexual i sexual.
 - Ecologia.
 - Processos industrials en els quals s'utilitza.

5. Usos dels microorganismes

Des de fa segles, determinats processos biològics són aprofitats per l'ésser humà per a l'obtenció de begudes, aliments i teixits. El desenvolupament de la microbiologia va permetre d'observar que aquests processos tradicionals implicaven els microorganismes.

En l'actualitat, els microorganismes s'utilitzen per a l'obtenció de *productes alimentaris* i *agents terapèutics*, i també per a controlar diversos *problemes mediambientals*.

La **biotecnologia** és la ciència que integra la microbiologia, la bioquímica i l'enginyeria genètica i té com a objecte la recerca d'aplicacions tecnològiques per a les capacitats dels microorganismes i les cèl·lules.

- Els principals grups de microorganismes implicats en l'**elaboració de productes alimentaris** són els llevats, els bacteris de l'àcid acètic i els bacteris de l'àcid làctic.

Els **llevats** són utilitzats en diferents processos de fermentació; els de més importància tècnica són alguns ceps de *Saccharomyces cerevisiae*, que s'usen en els casos següents:

- **Elaboració de vi.** Després d'aixafar el raïm s'obté el most, un líquid àcid que conté entre un 10% i un 25% de sucre. A partir del sucre contingut en el most es produeix la fermentació de sucres, com la glucosa i la fructosa, que originen CO_2 i alcohol etílic.
- **Elaboració de cervesa.** Es fabrica a partir de cereals, dels quals, però, no s'obtenen sucres fermentables sinó grans de midó. El midó s'hidrolitza a sucres fermentables, com la maltosa i la glucosa i, a partir d'aquests sucres, es realitza la fermentació alcohòlica.
- **Elaboració de pa.** La farina humida es barreja amb el llevat. La farina no conté sucre però hi ha enzims capaços de degradar el midó, que originarà prou sucre com perquè es produeixi la fermentació.

Els **bacteris de l'àcid acètic** s'utilitzen per a:

- **Elaboració de vinagre.** Es produeix quan el vi o la cervesa s'exposen a l'aire i els bacteris de l'àcid acètic oxiden l'alcohol a àcid acètic.

Els **bacteris de l'àcid làctic** s'utilitzen per a:

- **Fabricació de productes lactis.** Per a l'elaboració de mantega, formatge i iogurt es requereix la intervenció de bacteris que transformen el sucre en àcid làctic.
 - **Aromatització de productes.** Aquests bacteris s'utilitzen també per a aromatitzar diferents productes, com les olives o els embotits, i, a més, els confereix protecció contra posteriors atacs microbians.
- L'ús dels microorganismes com a **agents terapèutics** s'ha desenvolupat en els darrers anys per a les finalitats següents:
 - **Elaboració d'antibiòtics.** Aquest seria el cas de *Penicillium sp.*, del qual es va obtenir el primer antibiòtic, la penicil·lina. Els antibiòtics són productes anomenats metabòlits secundaris perquè la seva síntesi no està associada al creixement.
 - **Elaboració d'hormones.** Nombrosos fongs i bacteris són capaços de realitzar oxidacions limitades a partir d'esterols vegetals, originant productes tan importants com la cortisona, utilitzada en el tractament de malalties com l'artritis reumàtica.

- **Elaboració de vitamines.** Molts fongs i bacteris són capaços de produir vitamines en grans quantitats, com en el cas de *Pseudomonas*, que produeix la vitamina B₁₂, o de certs fongs, com *Ashbya gossypii* i *Eremothecium ashbyi*, que sintetitzen la vitamina B₂.
- Els microorganismes també s'utilitzen en el tractament i la solució de problemes mediambientals com els següents:
 - **Control de plagues d'insectes.** En aquests casos s'aprofita la capacitat d'esporejació d'algunes espècies de *Bacillus* per a controlar plagues d'erugues. Aquests bacils són patògens per a les larves de certs insectes.
 - **Control de mares negres.** Les plataformes petrolíferes o el transport de petroli per via marítima provoquen, de tant en tant, accidents que alliberen al mar tones d'hidrocarburs, de manera que produeixen les mares negres. De vegades s'utilitzen bacteris com ara *Pseudomonas*, capaços d'emprar hidrocarburs com a substrat en les seves vies metabòliques per a la neteja d'aquests abocaments.



La utilització de bacteris pot contribuir a pal·liar els efectes de les mares negres provocades pels abocaments accidentals d'hidrocarburs.

D'altra banda, a més de la utilització dels microorganismes, la tecnologia actual permet l'aprofitament de les capacitats d'altres organismes i sistemes biològics (activitats enzimàtiques, rutes catabòliques...) per a l'eliminació d'elements contaminants del medi ambient. L'aprofitament d'aquestes capacitats d'alguns organismes rep el nom de **bioremediació**, la qual inclou:

- **Biodegradació enzimàtica i bioremediació microbiana.** Consisteixen en la utilització de sistemes biològics, com els enzims i els microorganismes, per a produir ruptures o canvis moleculars de tòxics, contaminants i substàncies d'importància ambiental en el sòl, l'aigua i l'aire, generant compostos de menor impacte ambiental.
- **Fitoremediació.** Consisteix en la utilització de plantes superiors (arbres, arbustos o herbes) que tenen la capacitat d'atrapar i retenir diferents substàncies que esdevenen contaminants per al medi ambient.

Activitats de síntesi

- Busca informació sobre l'estructura de la cèl·lula eucariota, i compara-la amb la de la cèl·lula procariota. Tingues en compte els aspectes següents:

- Mides i forma
- Embolcalls: paret i membrana
- Orgànuls
- Moviment
- Material hereditari

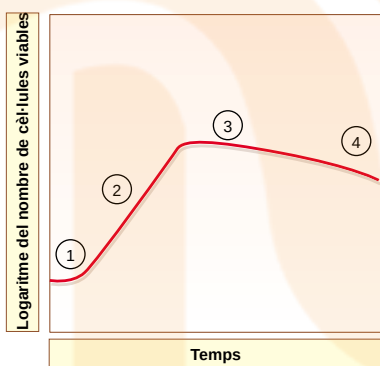
— Fes un esquema de tots dos tipus de cèl·lula per tal de dur a terme la descripció.

- Defineix els conceptes següents:

- Endòspora
- Càpsula
- Genòfor
- Fímbria

- Què significa que un bacteri és aeròbic? I anaeròbic?

- Indica les fases del creixement bacterià en el gràfic següent:



— A quins canvis en la població i en el medi correspon cada fase?

- Dibuixa un esquema d'un virus, indicant-ne els components i la funció de cadascun.

- Indica si les afirmacions següents són vertaderes o falses:

— Rectifica les frases incorrectes perquè siguin correctes.

- Una colònia és una població de bacteris que s'ha format per successives divisions a partir d'un sol bacteri.
- La formació d'endòspores és una fase habitual del cicle de reproducció de la cèl·lula bacteriana.
- Els bacteris fotoautòtrofs utilitzen la llum com a font d'energia i la glucosa com a font de matèria.
- Els bacteris fixadors de nitrogen transformen l'amoniac en nitrats.

- *Desulfovibrio* i *Desulfotomaculum* són bacteris reductors de sulfats i transformen aquests compostos en H_2S .

- Quan un virus desencadena un cicle lisogen, s'insereix en el cromosoma de la cèl·lula hoste.

- Els retrovirus són virus que contenen DNA i el transformen en RNA mitjançant l'enzim transcriptasa inversa.

- Explica les diferències entre la divisió binària i l'esquizogònia en els protozous.

- Describeix el procés de conjugació dels protozous; acompanya'l d'esquemes que en facilitin la comprensió.

— Elabora una hipòtesi sobre els avantatges que pot comportar per a una espècie de protozous el procés de conjugació.

- Redacta un petit informe sobre l'estructura de la paret cel·lular dels fongs veritables.

— Quina característica la diferencia de les parets cel·lulars que presenten altres grups d'organismes?

- Dedueix per què algunes espècies de fongs poden secretar antibiòtics, en períodes en què les condicions ambientals són desfavorables.

— Comenta el teu raonament amb altres companys i companyes.

— Busqueu informació per a confirmar o rebutjar les vostres hipòtesis.

- Amplia la informació sobre els líquens i investiga sobre els aspectes següents:

- Estructura
- Nutrició
- Sistemes de reproducció
- Tipus de líquens
- Ecologia

- Elabora un esquema per tal de resumir els continguts principals d'aquesta unitat. Utilitza'l per a recordar les característiques dels diferents grups estudiats. El pots fer en forma de taula com la següent.

	Bacteris	Virus	Protozous	Fongs
Estructura				
Nutrició				