

Tema 12 La Cèl·lula (V): Divisió cel·lular

- 1- El cicle cel·lular
2. Cromosomes
- 2.1 morfologia general dels cromosomes
- 2.2. Cariotip i bandeig cromosòmic
3. Mitosi
4. Citocinesi
5. Meiosi
6. Cicles vitals
- 6.1. Cicle diplont
- 6.2. Cicle haplont
- 6.3. Cicle haplodiplont.
- 6.4. L'evolució dels cicles biològics

.1- El cicle cel·lular

La teoria cel·lular ens diu que cada cèl·lula prové de la divisió d'una altra cèl·lula preexistent. Des d'aquest moment , fins a que la nova cèl·lula es torne a dividir , travessarà una sèrie d'etapes que formen el seu **cicle vital**. Tradicionalment es distingeix entre període d'**interfase** (o de repós) i el període de **divisió** cel·lular. Durant la interfase el nucli no presentava aparentment cap activitat observable , mentre que al període de divisió sofria una sèrie de transformacions fàcilment observables amb el microscopi òptic

La interfase és , però , un període de gran activitat cel·lular. La majoria dels components cel·lulars es formen contínuament durant la interfase a excepció de l'ADN. La replicació d'ADN té lloc en una fase limitada i concreta de la interfase que rep el nom de **fase S** (S = síntesi). L'altra fase concreta del cicle cel·lular és la de divisió cel·lular, fàcilment observable al microscopi , i que inclou una divisió nuclear (mitosi) i una divisió citoplasmàtica (citocinesi). Tota la fase de divisió cel·lular rep el nom de **fase M** (M=mitòtica). Resten dos períodes compresos entre la fase M i el començament de la síntesi d'ADN que rep el nom de **G₁** (G = *gap* , en anglès separació) , i el període comprès entre la fi de la síntesi d'ADN i la fase M següent , que rep el nom de **G₂**.

Així doncs , la interfase està composta per fases G₁ , S i G₂ , i normalment representa el 90% del total del cicle cel·lular. A les cèl·lules eucariotes amb divisió cel·lular ràpida , la interfase dura unes 16-24 hores , mentre que la fase M únicament 1 o 2 hores

Passem a descriure un **cicle cel·lular típic**:

Després d'una fase M les cèl·lules filles inicien la interfase d'un nou cicle. La interfase s'inicia amb la fase G₁.

* **Fase G₁**. És una fase de creixement que s'inicia immediatament després de la divisió cel·lular. És una etapa d'intensa activitat metabòlica on els gens es transcriuen i es tradueixen per sintetitzar les proteïnes necessàries per al creixement cel·lular. Acostuma a durar unes 11 hores.

* **Fase S**. Quan la cèl·lula assoleix unes determinades dimensions , s'ha de preparar per a la seua divisió; per això duplica prèviament el seu contingut genètic amb la finalitat que cada cèl·lula filla continga una còpia idèntica del **genoma** (conjunt d'ADN de la cèl·lula). Aquesta és una fase de síntesi i replicació de l'ADN (repasar la replicació de l'ADN al tema 7) i finalitza quan el contingut d'ADN del nucli s'ha duplicat. Té una durada aproximada de 8 hores.

* **Fase G₂**. En aquesta etapa , preparatòria per a la mitosi , es transcriuen i es tradueixen certs gens responsables de l'aparició de les proteïnes necessàries per a la divisió cel·lular. Té una durada aproximada de 4 hores.

* **Fase M**. És l'etapa final del cicle , quan les cèl·lules es divideixen i reparteixen equitativament el seu contingut nuclear (mitosi) i citoplasmàtic (citocinesi) entre les dos cèl·lules filles. En primer lloc la cromatina que ha estat duplicada en la fase S es condensa i forma unes estructures - cromosomes- que han d'ésser alineats separats i desplaçats cap als extrems de la cèl·lula. En segon lloc , el citoplasma s'ha de segmentar de manera que assegure que cada cèl·lula filla obtinga no solament un conjunt complet de cromosomes , sinó també els elements i orgànuls citoplasmàtics.

Uns dels factors que regulen la divisió cel·lular és la **relació nucleoplasmàtica** (RNP) :

$$\text{RNP} = \frac{\text{Volum nuclear}}{\text{Volum citoplasmàtic}}$$

Quan la RNP assoleix un valor mínim implica que el nucli és incapaç de controlar el metabolisme del citoplasma tan gran , per la qual cosa s'indueix la divisió cel·lular.

En alguns casos , a partir de la fase M la cèl·lula pot entrar en una fase G₀ durant la qual experimenta tota una sèrie de transformacions que porten a la diferenciació cel·lular , de manera que la cèl·lula s'especialitza i únicament utilitza una part del seu **genoma**. En algunes cèl·lules molt especialitzades la diferenciació cel·lular no permet que es tornen a dividir; en altres cèl·lules poden passar de G₀ a G₁ i dividir-se en ser estimulades per determinats factors mitògens.

2-Cromosomes

2.1- Morfologia general dels cromosomes

Com acabem de veure , al llarg de la fase M el material genètic acabat de duplicar a la fase S ha de repartir-se de forma equitativa entre les dos cèl·lules filles. Per aquesta raó la cromatina ha de trobar-se en una forma més condensada per facilitar el seu repartiment (en l'estat de fibra cromatínica seria molt difícil separar les dos còpies , de la mateixa manera que és difícil repartir equitativament una ració d'espaguetis entre dos plats). Els **cromosomes** són estructures , generalment en forma de bastons allargats , i que es tenyeixen amb colorants bàsics com l'orceïna o l'hematoxilina , raó per la qual són fàcilment observables al microscopi òptic i reben aquesta denominació.

Cada cromosoma consta de dos **cromàtides** alineades paral·lelament i unides per una constricció principal (primària) anomenada **centròmer**. Aquesta descripció correspon al cromosoma metafàsic ja que a la segona fase de la mitosi el cromosoma (anafàsic) està constituït per una sola cromàtida: Cada cromàtida correspon a una molècula d'ADN -genèticament idèntica - duplicada a la fase S.

Cada cromàtida presenta a nivell del centròmer una estructura discoïdal anomenada **cinetòcor** , que conté un centre organitzador de microtúbuls a partir dels qual es formen filaments tubulars que dirigiran els moviments cromosòmics durant la mitosi i la meiosi

El centròmer divideix el cromosoma en dos parts , els **braços** , que poden ser iguals o no , segons la posició que hi ocupe. Això permet de classificar morfològicament els cromosomes

* Metacèntrics , quan els dos braços són iguals , ja que el centròmer es troba al centre de la cromàtida.

* Submetacèntrics , quan els dos braços són lleugerament desiguals .

Acrocèntrics, quan els braços són molt desiguals

* Telocèntrics, quan el cromosoma té un sol braç perquè el centròmer es localitza en un dels extrems.

Als cromosomes també podem trobar constriccions secundàries , més o menys profundes; solen tenir relació amb regions satèl·lit on es condensa l'ADN nucleolar

La grandària dels cromosomes és variable.; a l'espècie humana la seua longitud varia entre 1,5 i 5 μm . algunes espècies posseeixen cromosomes puntiformes (0,15-0.2 μm)

2.2 Cariotip i bandeig cromosòmic

Totes les cèl·lules d'un individu , excepte les cèl·lules germinals , i tots els individus d'una mateixa espècie tenen un número constant de cromosomes.

Les espècies **haploides** tenen n cromosomes diferents. Les espècie **diploides** - la majoria dels animals i les plantes- presenten dosjocs de cromosomes ($2n$): un joc cromosòmic és d'origen patern , i l'altre d'origen matern . Aquests cromosomes , idèntics des del punt de vista morfològic , i genèticament similars (contenen informació per als mateixos caràcters , tot i que no sempre és idèntica) , s'anomenen **cromosomes homòlegs**. Els gàmetes (espermatozoïdes i òvuls) i moltes espores de vegetals inferiors són , però , haploides (n)

L'espècie humana té 46 cromosomes , $2n=46$; és a dir 23 parelles , dels quals 44 (22 parelles) s'anomenen **autosomes** i els altres dos els **cromosomes sexuals** , XX per a les dones i XY per als hòmens

Altres organismes com el blat o les falagueres contenen més de dos jocs cromosòmics i s'anomenen triploides ($3n$) , tetraploides ($4n$) , i en general , **poliploides** , quan contenen diverses vegades la dotació normal d'ADN. Un cas particular de poliploidia és la politènia , que s'esdevé quan , després de successives replicacions d'ADN , les cromàtides no se separen , sinó que queden juntes i formen un cromosoma gegantí anomenat politènic. Això s'observa a les cèl·lules gegants de les glàndules salivars de les larves de la mosca *Drosophyla* i són molt utilitzats per l'estudi dels cromosomes atesa la seua grandària.

Quan es tenyeixen els cromosomes amb determinats colorants com la fucsina a la tècnica *Feulgen* , apareixen unes **bandes característiques** de cada cromosoma , formades per l'alternança de zones més fosques , corresponents a l'**heterocromatina** , i zones més clares d'**eucromatina**. Amb aquesta tècnica és possible identificar i numerar tots els cromosomes d'una cèl·lula.

Una vegada feta la tinció , es fa una preparació microscòpica i es fotografia el conjunt de cromosomes; després , s'amplia la fotografia , es retallen els cromosomes i s'agrupen per parelles en funció del seu bandeig i la seua morfologia. La representació gràfica del conjunt de cromosomes d'una cèl·lula s'anomena **cariotip**.

3. Mitosi

Posem definir la mitosi com el procés mitjançant el qual es reparteix equitativament el material cromosòmic entre les dos cèl·lules filles; amb això s'assegura que la informació genètica es transmeti sense variació d'unes cèl·lules a unes altres. Per a que això siga possible la cèl·lula ha de replicar el seu ADN en la fase S.

Als organismes unicel·lulars la mitosi representa un sistema de reproducció (asexual) , mentre que als organismes pluricel·lulars permet el creixement , desenvolupament i regeneració dels teixits procedents , per successives mitosis i un procés de diferenciació cel·lular , del **zigot**. Tot i que totes les cèl·lules d'un organisme pluricel·lular tenen la mateixa informació gènica , cada tipus cel·lular codifica una fracció del seu genoma total.

La mitosi representa un mecanisme molt complex que sorgí de l'evolució de les cèl·lules que presentaven una gran quantitat d'ADN empaquetat en un nombre discret de cromosomes. Tot i ser un procés dinàmic , continu , tradicionalment es divideix de forma arbitrària en quatre fases successives anomenades profase, metafase , anafase i telofase.

Profase

El pas de la fase G2 a la fase M del cicle cel·lular no està massa definit. Hi tenen lloc tota una sèrie de transformacions entre les quals destaquem:

- * Aparició dels cromosomes: La cromatina que es trobava difusa a la interfase es condensa lentament i forma els cromosomes; cada cromosoma , l'ADN del qual s'ha duplicat en la fase S , consta de dos cromàtides unides pel centròmer.

- * Desaparició paulatina del nuclèol que no es torna a apreciar fins a l'acabament del procés de mitosi..

- * Formació del fus mitòtic: La massa de microtúbuls que formaven part del citoesquelet es disgrega i forma una gran reserva de molècules de tubulina que serà utilitzada en la formació del fus mitòtic , estructura fibrosa bipolar a partir de dos focus representats pels diplosomes (a les cèl·lules animals). El parell de centríols originals es dupliquen abans d'encetar-se la fase S i cada parell forma part d'un centre mitòtic que constitueix el focus d'una ordenació radial de microtúbuls , l'**àster**. Els dos àsters es troben situats primerament molt a prop , al costat de l'embolcall nuclear. A la fi de la profase els àsters se separen , es desplacen cap als pols de la cèl·lula i formen el fus mitòtic. Les cèl·lules vegetals no tenen centríols i els filaments del fus

eixen de dos zones més denses del citoplasma on se situen els centres organitzadors de microtúbuls (COM)

* Desintegració de l'embolcall nuclear que es trenca en fragments de membrana indiferenciables de les vesícules del RE. El fus mitòtic, que fins ara es trobava fora del nucli pot penetrar a l'àrea nuclear.

Origen del fus mitòtic
en

Organització del fus mitòtic
cèl·lules animals i vegetals

Metafase

A les dos cares dels cromosomes es desenvolupen els cinetòcors que queden units a un conjunt especial de microtúbuls anomenats **microtúbuls cinetocòrics** que creixen en direccions oposades des de cada costat del cromosoma i entren en interacció amb les fibres del fus mitòtic.

Com a conseqüència d'aquestes interaccions els cromosomes es disposen al centre del fus acromàtic, de manera que tots els centròmers es troben en un mateix pla. (**placa metafàsica**).

Anafase

La metafase sol durar sovint prou temps; Sobtadament s'inicia l'anafase quan se separen els cinetòcors aparellats de cada cromosoma, tot permetent que cada cromàtida siga arrossegada lentament cap un pol del fus.

Durant aquests moviments anafàsics les fibres cinetocòriques s'escurcen a mesura que les cromàtides s'apropen als pols. Al mateix temps les fibres del fus s'allarguen i els pols del fus mitòtic se separen encara més. Típicament, l'anafase és qüestió de minuts.

Telofase

Aquesta fase és fins a cert punt oposada a la profase. Quan les cromàtides germanes arriben als pols , les fibres cinetocòriques desapareixen i les fibres polars s'allarguen encara més per desaparèixer posteriorment.

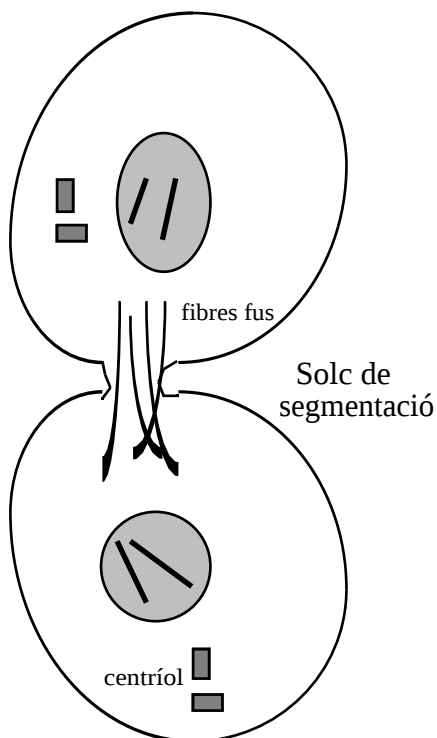
Es torna a formar una nova envoltura nuclear al voltant de cada grup de cromàtides filles. La cromatina condensada s'expandeix novament i el nuclèol torna a formar-se.

Fases de la mitosi
4- Citocinesis

Aquest procés , continuació de la mitosi , consisteix en la fragmentació del citoplasma , que es reparteix entre les dos cèl·lules filles. Aquest procés és diferent a les cèl·lules animals i a les vegetals.

* A les cèl·lules animals la citocinesi es fa per **estrangulació** del citoplasma. Normalment s'inicia al final de l'anafase o a la telofase. La membrana de la zona central de la cèl·lula , perpendicular a l'eix del fus mitòtic i situada entre els nuclis fills , es desplaça cap a l'interior i origina el **solc de segmentació** que va fent-se més profund i que acaba separant completament les dos cèl·lules filles.

* A les cèl·lules vegetals la paret cel·lulòsica no permet l'estrangulament i la citocinesi es fa mitjançant la formació d'un envà de separació entre les dos cèl·lules filles; la nova paret cel·lulòsica anomenada **fragmoplast** , prové de la fusió de vesícules de l'aparell de Golgi carregades de cel·lulosa i altres polisacàrids components de la paret vegetals que van acumulant-se al pla equatorial i després es fusionen. El creixement d'aquest fragmoplast és des de l'interior cap a la perifèria cel·lular.



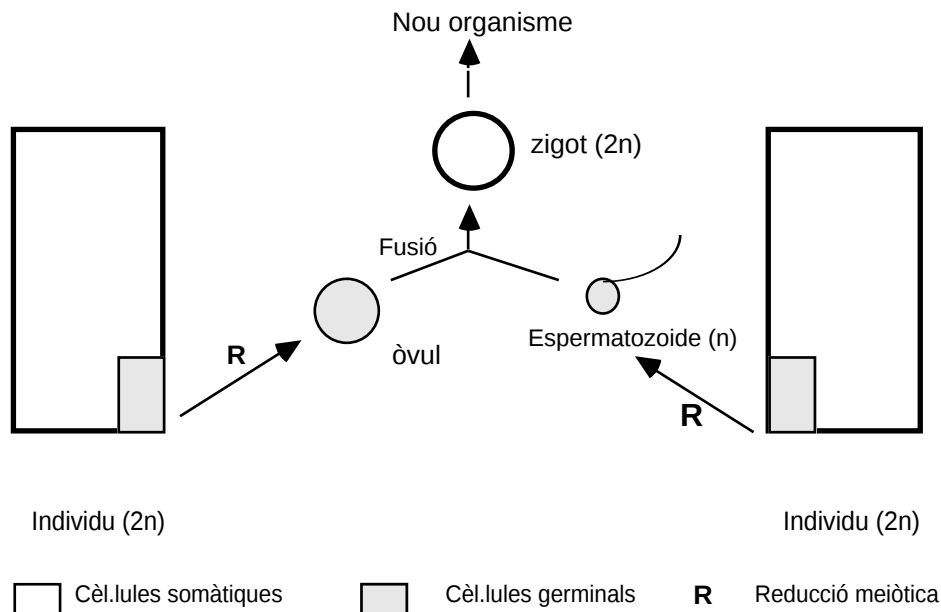
Citocinesi en cèl·lules animal i vegetal

5- Meiosi

És clar que el sexe no és necessari per a la reproducció. Nombrosos éssers vius posseeixen senzills mecanismes de reproducció asexual (ex: bipartició , gemmació , propàguls , etc) que originen una descendència genèticament idèntica a l'organisme patern. La **reproducció sexual** , en canvi , implica la mescla del material genètic procedent de dos individus diferents (a excepció d'algunes espècies hermafrodites on un mateix individu pot formar els dos tipus de cèl·lules sexuals) d'una mateixa espècie , per produir individus que , per regla general , es diferencien genèticament entre ells i també amb els seus progenitors.

La reproducció sexual , amb la corresponent augment de la variabilitat genètica de les espècies, presenta un gran avantatge evolutiu i ha estat adoptada per la gran majoria d'animals i plantes , així com nombrosos eucariotes unicel·lulars

La reproducció sexual consisteix en la fusió de dos cèl·lules especialitzades (**gàmetes**) procedents de dos individus diferents d'una espècie . El resultat d'aquesta fusió (**fecundació**) és una cèl·lula (**zigot**) que presenta el doble de cromosomes que els gàmetes. Posteriorment , per mitosis , el zigot originarà l'individu , que també presentarà una quantitat doble de cromosomes que els gàmetes. Es podria pensar , doncs , que cada generació posseirà una dotació cromosòmica doble que l'anterior. Tanmateix , sabem que el número de cromosomes d'una espècie roman constant de generació en generació. És necessari que en el cicle vital de les espècies amb reproducció sexual hi haja un moment en què el nombre de cromosomes quede reduït a la meitat. Aquesta reducció cromosòmica té lloc en un procés de divisió nuclear anomenat **meiosi**. El comportament dels cromosomes al procés de meiosi resulta molt més complexe del que caldria esperar d'una simple reducció , ja que s'hi afegeixen processos de recombinació gènica on es trenquen antigues combinacions de gens i es creen altres de noves.



La **meiosi** és un procés de divisió nuclear, la finalitat del qual és formar nuclis fills amb la meitat de cromosomes que la cèl·lula mare. Generalment la divisió nuclear va acompanyada d'una divisió del citoplasma. El número de cromosomes de la cèl·lula mare abans d'encetar la meiosi s'anomena **diploide** ($2n$) mentre que el nombre de cromosomes de les cèl·lules filles és **haploide** (n).

Les cèl·lules diploides posseeixen dos còpies de cada cromosoma, una provinent del pare i l'altra de la mare. Aquests dos cromosomes reben el nom **d'homòlegs**. El mecanisme més senzill que podria tindre lloc per a la reducció cromosòmica seria el d'un únic cicle mitòtic on no hi hagués replicació previa (fase S) i on cadascun dels cromosomes de la parella d'homòlegs aniria a parar a una de les cèl·lules filles haploides. El procés de meiosi és, però, molt més complex i implica dos divisions nuclears en lloc d'una sola.

* La diferència fonamental entre meiosi i mitosi es troba en la profase de la primera divisió meiótica: a la profase I, els cromosomes homòlegs s'emparellen i intercanvien material genètic i a l'anafase I on es produeix la separació de cromosomes homòlegs sencers i no de cromàtides d'un mateix cromosoma.

Fases de la meiosi

Abans que comencen les divisions meiótiques, es duplica el material genètic durant la fase S i, per tant, cada molècula d'ADN estarà constituïda per dos cromàtides bessones unides pel centròmer.

Primera divisió meiótica

1- Profase I

És l'etapa que dura més i a la qual tenen lloc els esdeveniments més característics de la meiosi. Per al seu estudi, s'hi distingeixen cinc subfases: Leptoté, zigoté, paquité, diploté i Diacènesi.

1.1 Leptoté

Marca el començament de la profase I quan els cromosomes s'han condensat prou per fer-se cvisibles , tot i no distingir-se les dos cromàtides bessones que formen cada cromosoma , les quals es mantindran estretament unides fins a la fi de la profase . Es pot observar, per altra banda , que els extrems dels cromosomes es troben units a la làmina fibrosa mitjançant una estructura anomenada **placa d'unió**.

1.2 Zigoté

S'hi inicia el procés d'aparellament dels cromosomes homòlegs , fenomen conegut pel nom de **sinapsi**. Això suposa un reconeixement entre els dos cromosomes homòlegs. Entre ambdós cromosomes es forma una estructura proteica amb forma de cremallera , el **complex sinaptonèmic** que fa que cada gen quede juxtaposat als seu gen homòleg del cromosoma aparellat. Això passa a tots els cromosomes , excepte a l'X i a l'Y que només s'aparellen parcialment mitjançant un fragment homòleg

Etapes de la meiosi

1.3 Paquit 

Una vegada es completa la sinapsi entre tots els cromosomes homòlegs i les cromàtides de tots dos cromosomes resten estretament unides (t trades) es produeix **l'entrecreuament** entre cromàtides no germanes ,  s a dir , l'intercanvi de fragments de cromosomes que pertanyen a diferents cromosomes homòlegs. La conseqüència d'aquest intercanvi és la **recombinació gènica** , ja que a partir d'aquell moment , els cromosomes no són completament paterns o materns , sinó que cada cromàtida està constituïda per segments alternants paterns o materns.

1.4 Diplot 

Desapareix el complex sinaptot mic i els cromosomes homòlegs se separen parcialment , quedant units per uns punts anomenats **quiasmes** que reflecteixen els llocs on hi ha hagut entrecreuament de cromàtides no germanes . Nota: El quiasma  s la manifestació citològica , observable al microscopi , de l'entrecreuament , la conseqüència genètica del qual és la recombinació gènica , és a dir , l'intercanvi de gens entre cromosomes homòlegs.

1.5 Diacenesi

En aquesta fase els cromosomes es condensen , es fan més gruixuts i se separen de l'embolcall nuclear. Com a conseqüència de aquesta configuració més compacta es pot observar clarament que cada parella de cromosomes homòlegs (**bivalents**) està constituïda per dos cromàtides germanes unides pel centròmer , mentre que les cromàtides no germanes queden unides pels quiasmes. (**t trades**)

A la fi de la diacenesi comença la desaparició de l'embolcall nuclear i del nuclèol , i es forma el fus entre els diplosomes , alhora que es comencen a formar els microtúbuls cinetoc rics.

2 . Metafase I

Els parell de cromosomes homòleg emigren al pla aquatorial del fus i originen la placa metafàsica formada per parells de cromosomes homòlegs.

3 . Anafase I

Es trenquen els quiasmes i cada cromosoma homòleg (amb les dos cromàtides unides) i no cada cromàtida ,se desplaça a un pol oposat de la cèl·lula.

4. Telofase I

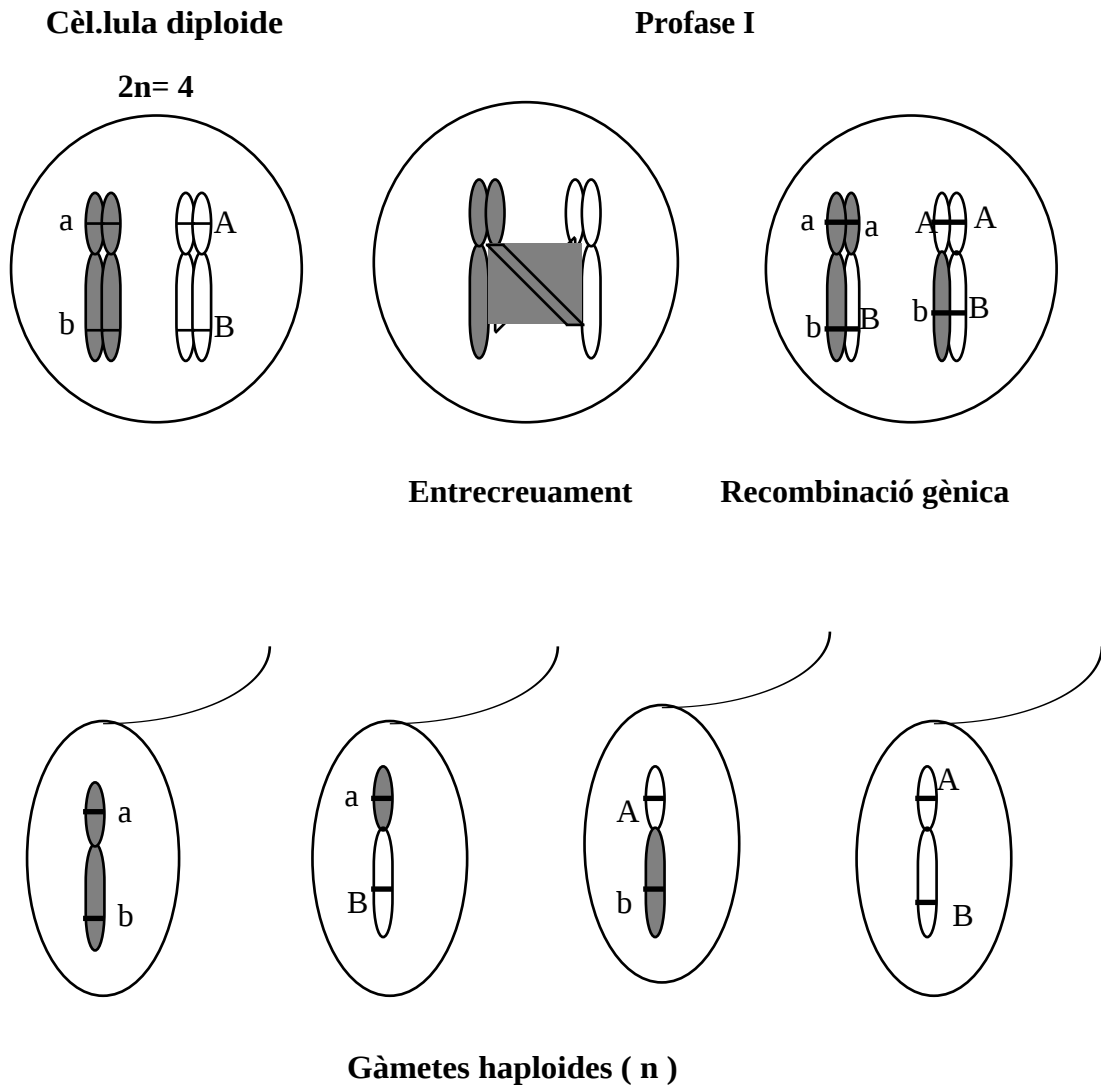
Semblant a la de la mitosi normal. Es regeneren els nuclis de les dos cèl·lules filles i desapareixen les fibres del fus. Simultàniament , els seus cromosomes experimenten una lleugera descondensació i entren en una breu interfase , a la qual no hi ha síntesi d'ADN. després de poc temps cada cèl·lula es separa per continuar la segona divisió de la meiosi.

Les dos cèl·lules descendents d'aquesta primera divisió contenen una quantitat diploide d'ADN pero que es diferencien de les cèl·lules diploides normal en : (1) Les dos còpies de cada cromosoma deriven d'un únic cromosoma homòleg i (2) aquestes dos còpies són heretades en forma de cromàtides germanes associades , tot formant un únic cromosoma.

Segona mitosi

En aquest cas és un procés similar a la mitosi normal. Després d'una curta profase II en la qual desapareixen les membranes cel·lulars , i es formen nous fusos orientats perpendicularment al primer , s'inicia la metafase II , on els cromosomes es disposen a la placa equatorial. Durant l'anafase II es divideixen els centròmers i cada cromàtida emigra a un pol oposat atreta per les fibres del cinetòcor. Finalitza el procés amb la telofase II , simultània a la citocinesi , que permet la formació de quatre cèl·lules amb la meitat de cromosomes (haploides).

Els gàmetes representen una mena de resum del contingut genètic de cada progenitor i contenen una composició genètica lleugerament diferent , ja que la recombinació meiótica és un procés que es fa a l'atzar. Per això , la reproducció sexual ha estat seleccionada evolutivament com a mecanisme reproductor a la majoria dels organismes , ja que assegura que la descendència tinga una composició genètica lleugerament diferent a la des progenitors (i entre els diferents gàmetes)



Comparació esquemàtica entre els processos de meïosi i una meïosi normal

5.2 Significat biològic de la meïosi als diferents cicles vitals

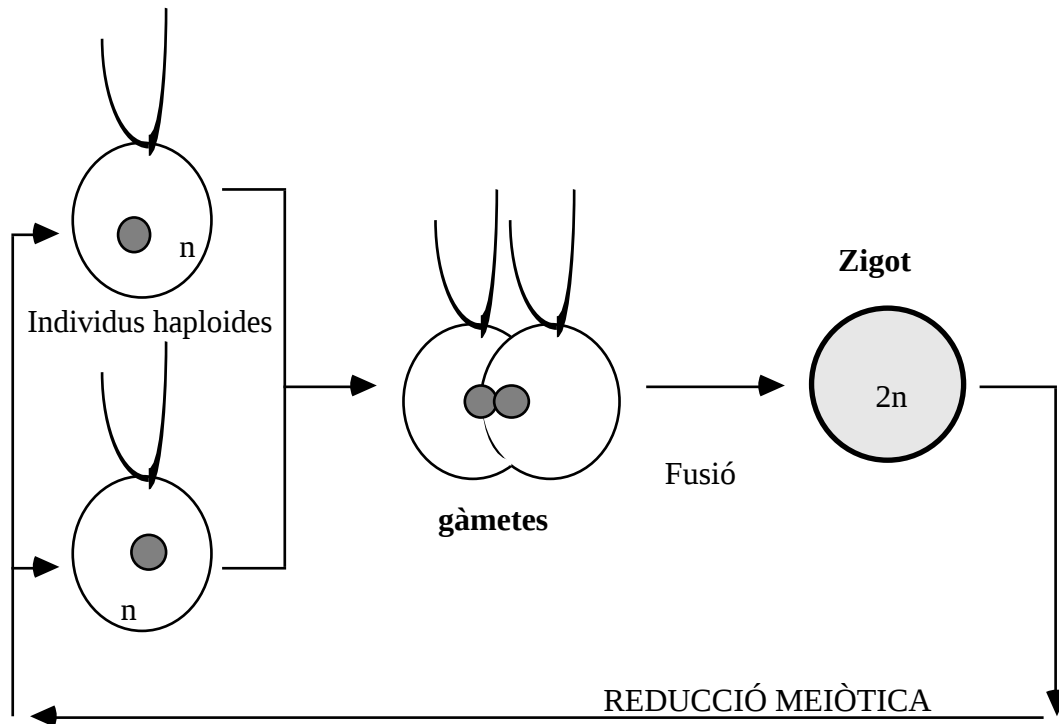
El cicle de reproducció sexual implica una alternança de generacions de cèl·lules haploides, amb generacions de cèl·lules diploides. S'enten per **cicle biològic** d'un organisme el conjunt d'etapes per les que transcorre des del moment que es forma el zigot, per fecundació dels gàmetes, fins que arriba a l'edat adulta i torna a produir gàmetes que formaran un nou zigot. Durant el cicle es passa per una etapa diploide i una altra haploide que és diferent segons els organismes en funció del lloc del cicle on es fa la meïosi. S'hi distingeixen tres tipus de cicles:

*** Cicle biològic diplont: meïosi gametogènica o terminal**

Típic dels metazous (animals). Es caracteritza perquè la meïosi apareix en el procés de formació dels gàmetes que són haploides. després de la fecundació es forma un zigot diploide, que es desenvolupa i origina un adult diploide. (Veure esquema pàgina 9).

*** Cicle biològic haplont: mitosi zigòtica o inicial**

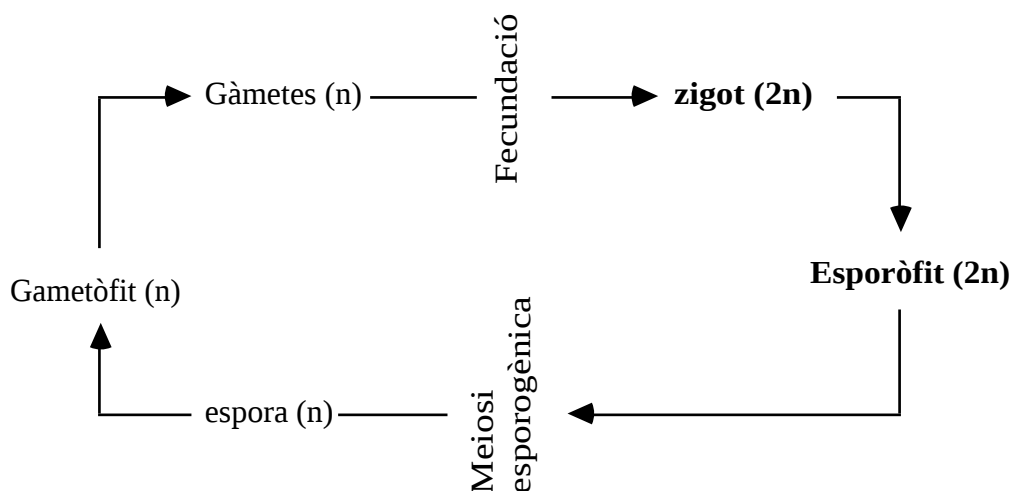
La presenten determinades algues unicel·lulars i nombrosos fongs. La meïosi té lloc immediatament després de la formació del zigot. En el cas de l'alga verd unicel·lular *Chlamydomonas*, aquesta es reproduïx normalment de forma asexual per bipartició; quan les condicions ambientals es fan desfavorables, els individus adults -haploides- actuen com a gàmetes, es fusionen i originen un zigot diploide, que s'envolta d'una coberta i forma una espora de resistència. Quan les condicions ambientals tornen a ser les favorables, el zigot experimenta la meïosi i forma quatre individus adults haploides.



*** Cicle biològic diplohaplont: meiosi esporogènica o intermèdia**

Es característic dels metàfits (plantes superiors) i d'algunes algues i fongs. La meiosi es produeix a la fase de formació d'espores: Una forma adulta de planta diploide (esporòfit) desenvolupa estructures reproductives (**esporangis**) al interior dels quals s'originen mitjançant el procés de meiosi, cèl·lules haploides de reproducció asexual (**espores**). Aquestes espores originen el **gametòfit**, forma adulta haploide, on s'originaran **gàmetes** (n) que després de la fecundació formen un zigot diploide que originarà una nova generació de planta diploide (esporòfit).

Aquest cicle, on la meiosi té lloc durant la formació de les espores, es caracteritza per una alternança de generacions haploides (gametòfits, reproducció sexual) i diploides (esporòfits, reproducció asexual).



CICLE DIPLOHAPLONT

Estudiarem tres exemples de cicle diplohaplont: les **molses** , on el gametòfit predomina sobre l'espòrfit que hi viu paràsit; les **falagueres** amb una fase esporofítica predominant; i les plantes **angiospermes** (plantes amb flor) on pràcticament existeix únicament el espòrfit , i el gametòfit es redueix a unes poques cèl·lules que es troben a l'interior de l'estructura del l'espòrfit.

Cicle vital d'una molsa

A partir d'espores apareix un gametòfit haploide que desenvolupa un òrgans sexuals (gametangis): Arquegonis (O) i anteridis (O) que formen les gàmetes (n): anterozoides i oosfera. Després de la fecundació apareix el zigot (2n) que es divideix per mitosis successives i forma un espòrfit (2n) que viu sobre el gametòfit. L'espòrfit desenvolupa una càpsula , a l'interior de la qual té lloc la reducció meiòtica amb la formació d'espores que tornaran a formar un nou gametòfit.

Cicle vital d'una falaguera (*Polypodium sp*)

Tothom ha vist una falaguera. Allò que veiem és l'esperòfit ($2n$) , fase dominant. A la part posterior de les fulles (frondes) es poden observar unes estructures esquamoses (sorus) on es reuneixen el esporangis. Allí es produeix la reducció meiòtica i s'originen espores haploides (n). Aquestes espores germinen i donen un gametòfit microscòpic amb forma de cor on es disposen els gametangis (anteridis i arquegonis) que formaran l'els gàmetes. Amb la fecundació es forma el zigot ($2n$) que donarà pas a un nou esperòfit.

Cicle vital d'una angiosperma

Les plantes superiors són esporòfits. Hi apareixen unes fulles germinals o **esporòfils** (estams i carpels) que formen part de les flors. A l'interior de l'antera de l'estam apareixen els sacs pol·línics (**microsporangi**) que contenen les cèl·lules mares del pol·len. Per meiosi s'obtenen 4 grans de pol·len haploides (**microspora**) que al germinar formen el tub pol·línic que equival al **gametòfit** masculí.

Els carpels (**megasporòfils**) contenen a l'interior del seu ovari els òvuls (**macrosporangis**). Al seu interior es troben les cèl·lules mare del sac embrionari (**macrospora**) que dormirà aquest (8 cèl·lules que constitueixen el **gametòfit** femení). Entre aquestes es troba l'oosfera (**gàmeta** femenina)

Després de la pol·linització, germinarà el gra de pol·len que emetrà un tub pol·línic que arriba fins el sac embrionari. Allí els nuclis espermàtics del gra de pol·len (**gàmeta** masculina) fecundarà l'oosfera i forma el **zigot** (2n). El zigot es desenvoluparà i formarà l'**embrió** i aquest, al seu torn, una altra planta diploide (esporòfit)

El cicle biològic de les plantes angiospermes		
Esporòfit (2n)	Planta adulta	
Espora(n)	Macrospora (cèl·lula mare del sac embrionari)	Microspora (cèl·lula mare del grans de pol·len)
Gametòfit (n)	Sac embronari	Gra de pol·len i el seu tub
Gàmeta (n)	oosfera	nuclis espermàtics
Zigot (2n)	Embrió	

Cicle biològic d'una planta superior

L'evolució dels cicles biològics

L'evolució ha dut al desenvolupament d'una fase diploide de mica en mica més llarga. La dotació cromosòmica diploide representa sens dubte un avantatge evolutiu molt gran , ja que cada caracter està governat per dos gens (**al·lels**). Alhora augmenta l'estabilitat gènica ja que si algun dels dos gens s'altera per mutació o qualsevol altra causa , els segon pot mantenir la funció original.

Aquesta tendència evolutiva , s'aprecia de forma clara als cicles diplohaplonts del regne vegetal: S'hi observa una progressiva regressió de la fase de gametòfit (haploide) , dominant als briòfits , que arriba a "desapareixer" en els espermatòfits (plantes amb llavors) a costa de la fase diploide.

A les algues també s'observa aquest fenomen: en algues inferiors domina el gametòfit; en altres cicles hi ha un equilibri entre les dos generacions , però poc a poc es redueix la fase

gametofítica que té tendència a quedar reduïda a unes poques cèl·lules i sovint a dependre de l'esporeofítica ;*Laminaria* (amb un gametòfit microscòpic format per unes poques cèl·lules i esporeofits que poden arribar a més de 50 metres de llargària), *Fucus* (on el gametòfit està constituït per unes poques cèl·lules que viuen de forma dependent a l'interior de l'esporeofit), etc.