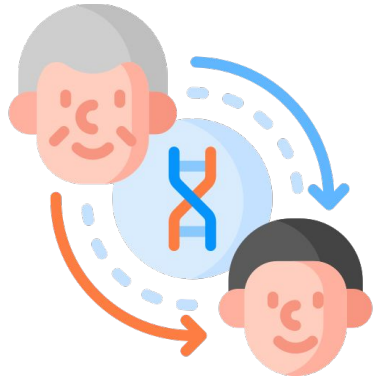




BLOC II

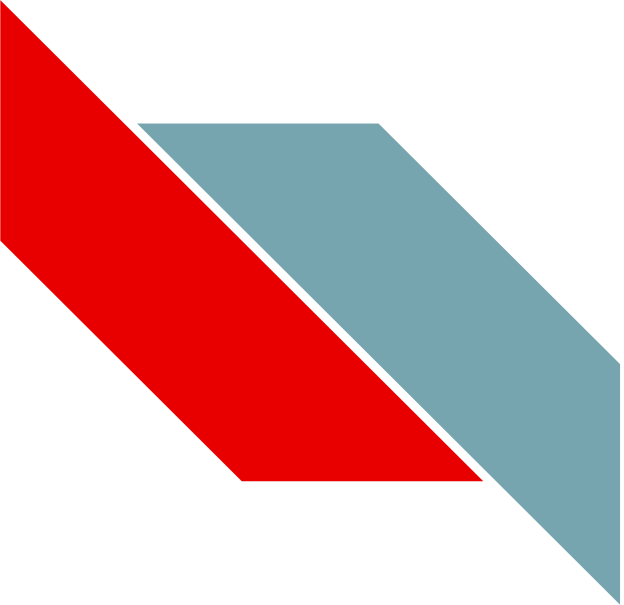
GENÈTICA I

CICLE CEL·LULAR



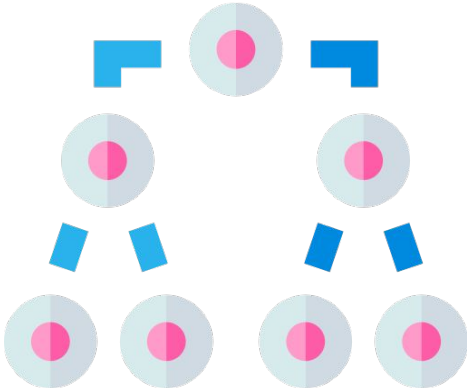
Biologia II
2n de Batxillerat
2023-24

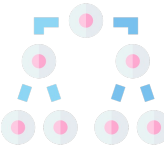
Jaume Benet i Bertran



Unitat 5. **CICLE CEL·LULAR I CÀNCER**

1. El cicle cel·lular
2. Mitosi
3. Meiosi
4. Els cicles biològics
5. Control del cicle cel·lular i càncer





1. El cicle cel·lular

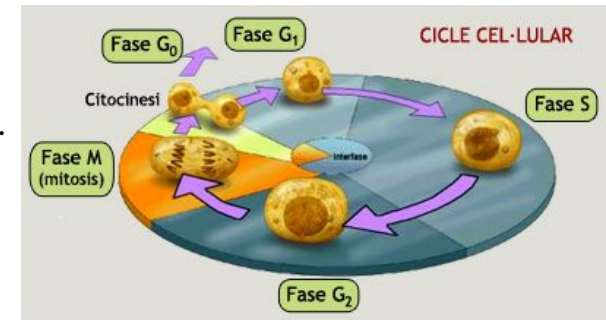
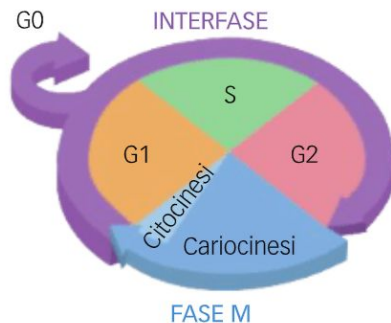
- La **teoria cel·lular** afirma “Tota cèl·lula s’ha originat a partir d’altra cèl·lula, per **divisió** d’aquesta”
- Humans ➡ **37 bilions de cèl·lules** formats a partir d’una cèl·lula **zigot**

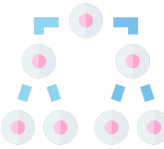
moltíssimes divisions per **créixer**
i per **renovar** estructures

un cos humà adult
produeix **3,8 milions**
de cèl·lules per segon

- Cicle cel·lular** ➡ **Processos** pels que passa una cèl·lula des que es forma per divisió fins que torna a dividir-se.

- **Interfase**
- **Fase M**



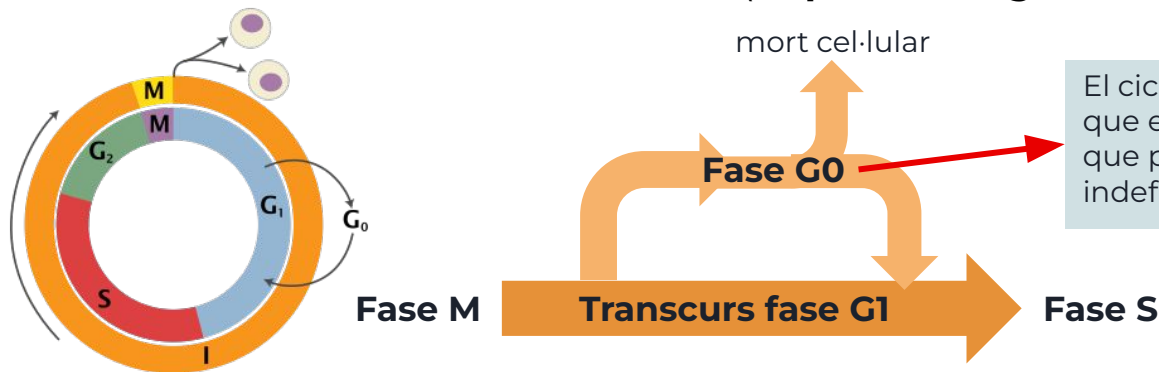


1.1. Interfase

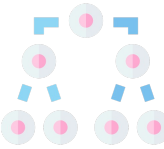
- La cèl·lula **no es divideix** (entre una fase de divisió i la següent)
- La cèl·lula **augmenta de mida, transcriu gens i sintetitza proteïnes, duplica el seu material genètic**

Fase G1:

- **Síntesi de RNA i proteïnes** (histones, enzims de replicació de DNA)
- Creixement cel·lular (**duplicació orgànuls i estructures citoplasmàtiques**)

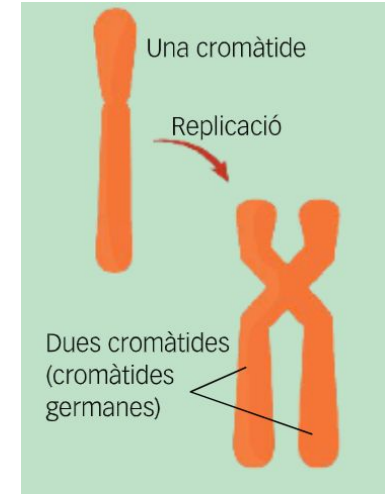


El cicle pot **aturar-se en la fase G1**, es diu que entra en **fase G0** o **de quiescència**, que pot durar dies, mesos o de manera indefinida fins la seva mort



Fase S:

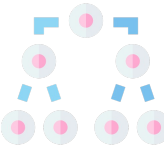
- **Replicació del DNA** (es passa d'una cromàtide a dues cromàtides per ser repartides en la divisió)
- **Síntesi de RNA i proteïnes** (histones)
- **Duplicació centrosomes** (cèl·lules animals)



Fase G2:

- **Síntesi de RNA i proteïnes** (enzims que participen en la divisió)
- **Creixement cel·lular (reorganització orgànuls i preparació per a la divisió)**

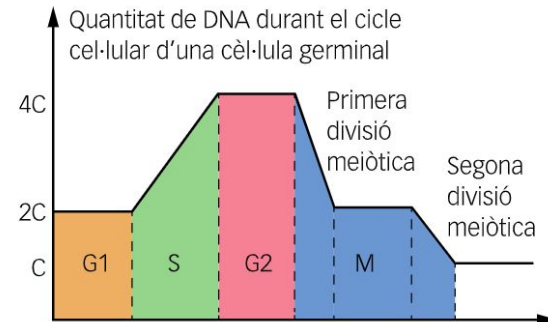
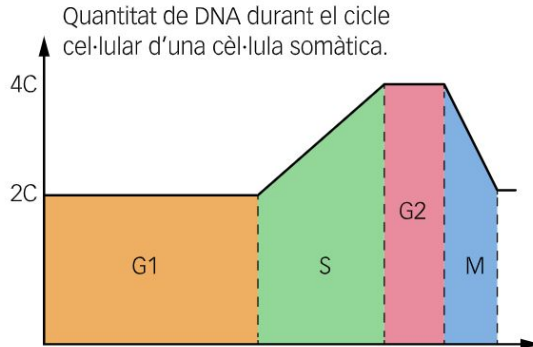
1.2. Fase M



- La cèl·lula **es divideix** per **bipartició** (2 cèl·lules filles)
- Es produeix en **2 fases consecutives**
 - Cariocinesi**: divisió del **nucli**
 - Citocinesi**: divisió del **citoplasma**

Cariocinesi

- Cèl·lules somàtiques** (creixement i reproducció asexual) ➡ Divisió per **mitosi**
- Cèl·lules germinals i gàmetes** (reproducció sexual) ➡ Divisió per **meiosi**



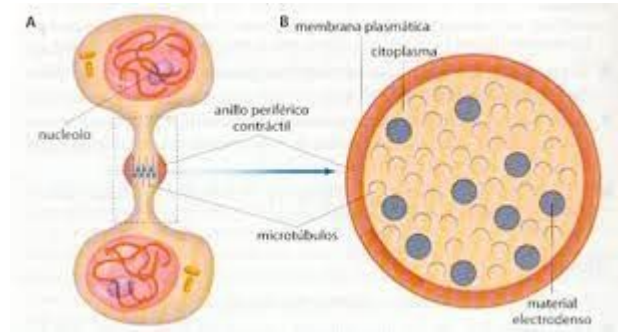
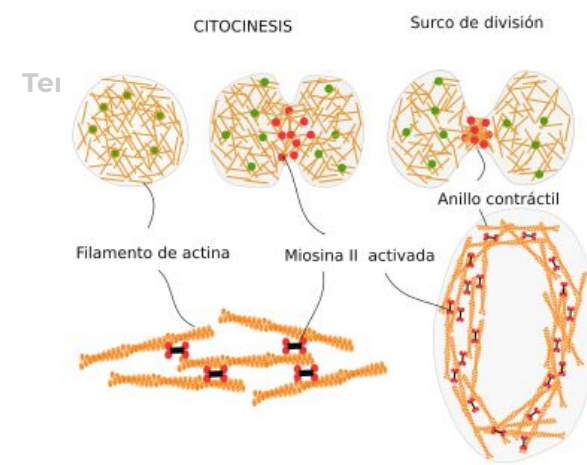
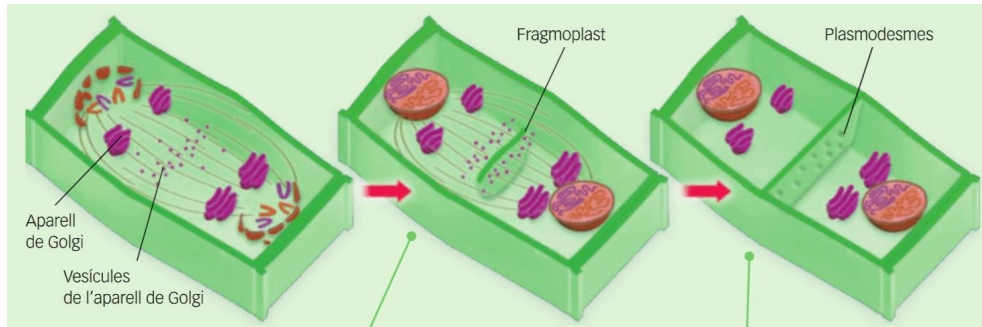
Citocinesi

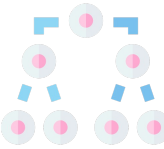
- **Cèl·lules animals**

1. Formació d'un **anell contràctil d'actina** a la membrana a l'equador
2. Associació a **filaments de miosina** per anar-se estrenyent
3. **Estrangulament** del citoplasma

- **Cèl·lules vegetals**

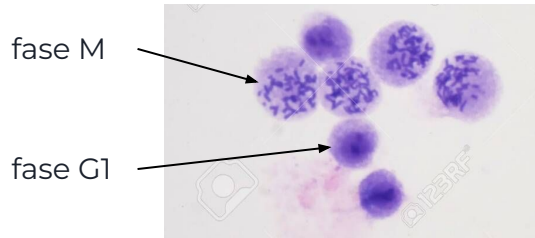
1. Formació d'una làmina de microtúbuls i vesícules a l'equador, el **fragmoplast**
2. Aquesta làmina presenta **plasmodesmes**, canals que comuniquen els dos citoplasmes ara separats
3. Formació de la paret cel·lular al voltant del fragmoplast que formarà la **làmina mitjana**





2. Mitosi

- Dóna lloc a **2 nuclis** fills **idèntics genèticament** i **idèntics al nucli mare**

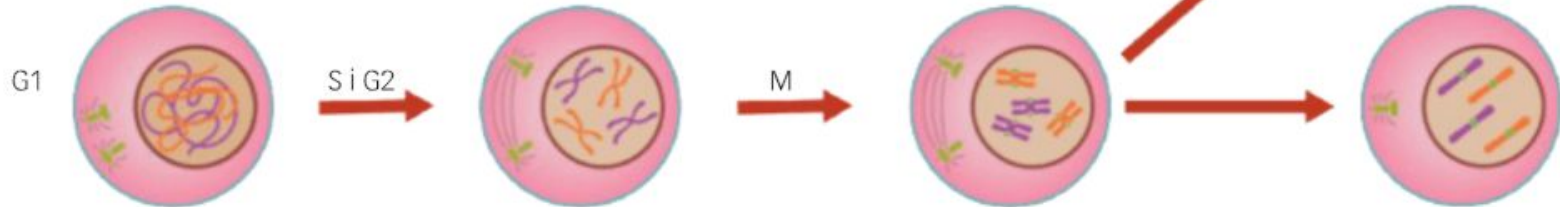


Cèl·lula mare amb
4 cromosomes

Cèl·lula mare amb
4 cromosomes
replicats

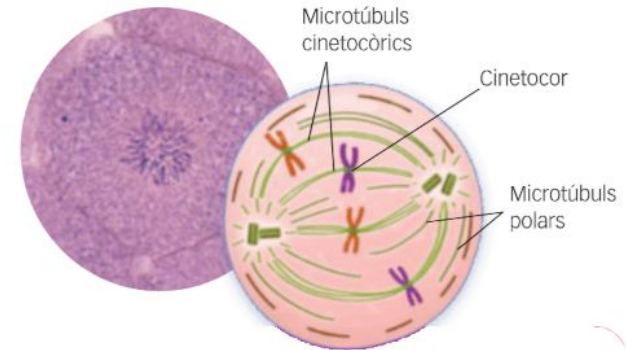
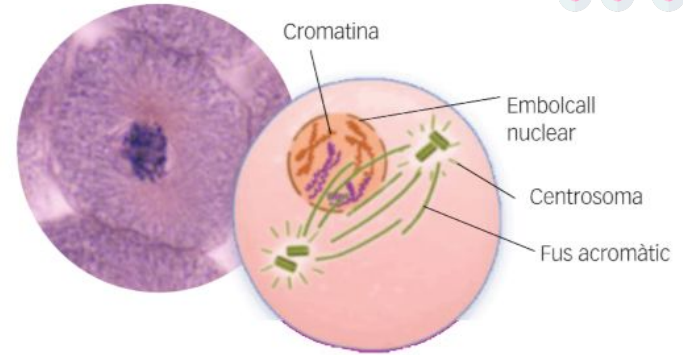
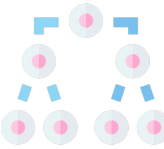
Cèl·lula mare en mitosi
amb 4 cromosomes
replicats condensats

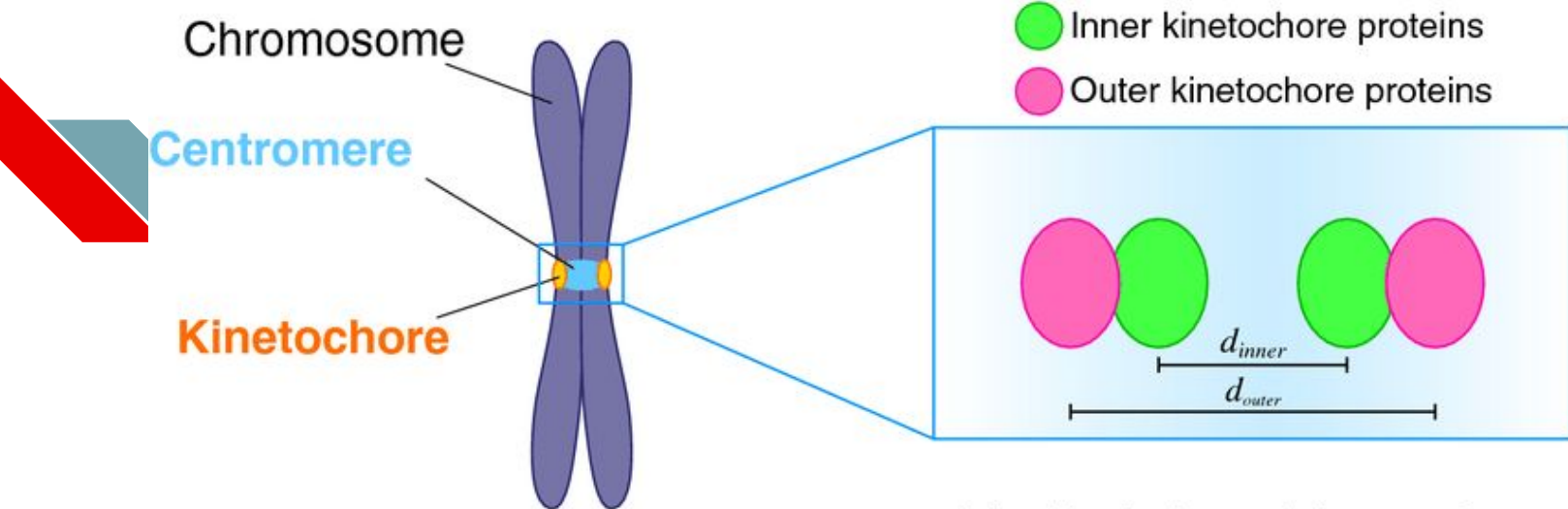
2 cèl·lules filles amb 4
cromosomes condensats



2.1. Profase

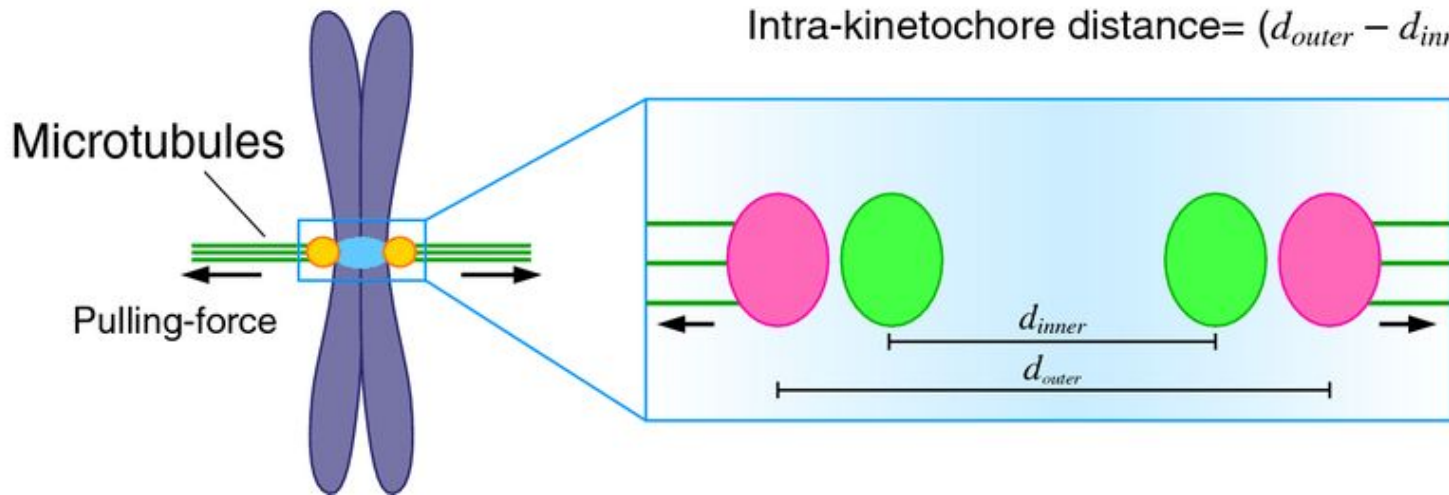
- **Condensació** dels **cromosomes** de 2 cromàtides germanes
- **Desaparició** del **nuclèol**
- **Formació** del **fus mitòtic** o **acromàtic** (microtúbuls, MT) al **centre organitzador de microtúbuls** (MTOC o COMT), **centrosoma** en animals
- **Desaparició** de l'**embolcall nuclear**
- **Unió** del **fus mitòtic** al **cinetocor** que es troba al **centròmer** dels cromosomes

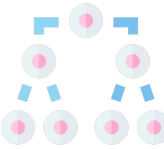




Inter-kinetochore distance = d_{inner}

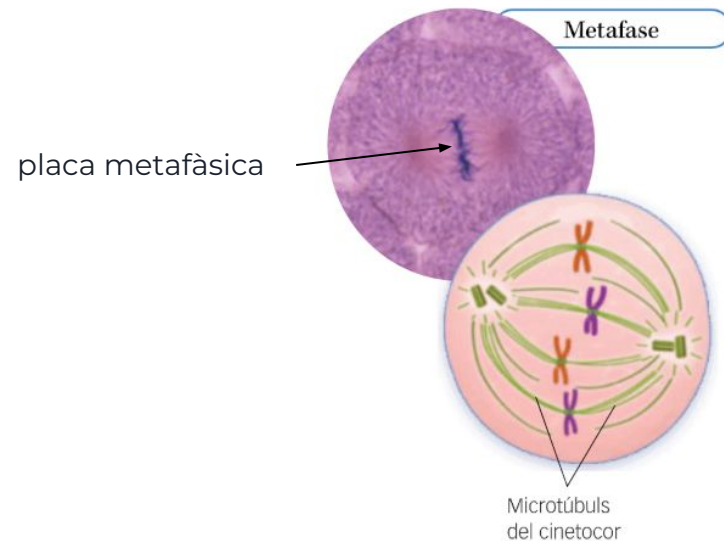
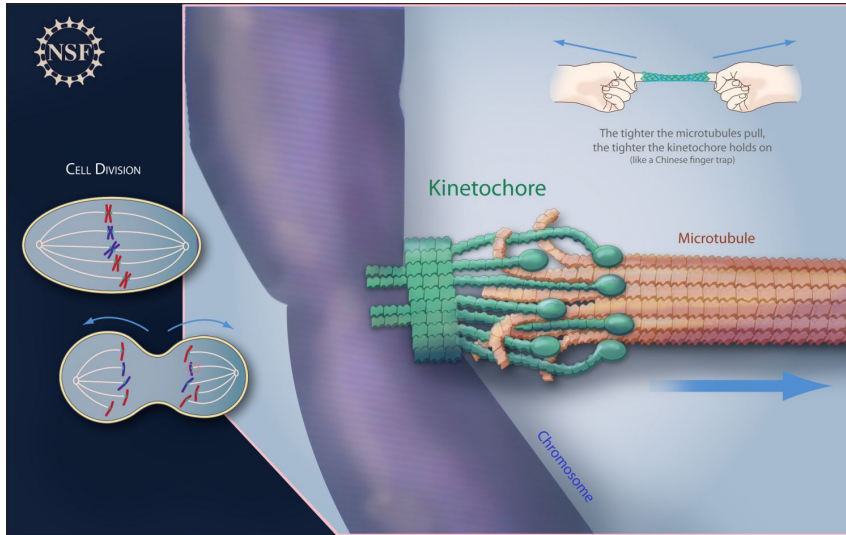
Intra-kinetochore distance = $(d_{outer} - d_{inner})/2$

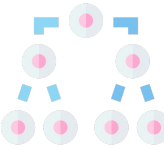




2.2. Metafase

- Més **condensació** dels **cromosomes**
- **Desplaçament** dels **cromosomes a l'equador** de la cèl·lula formant la **placa metafàsica** o **equatorial**

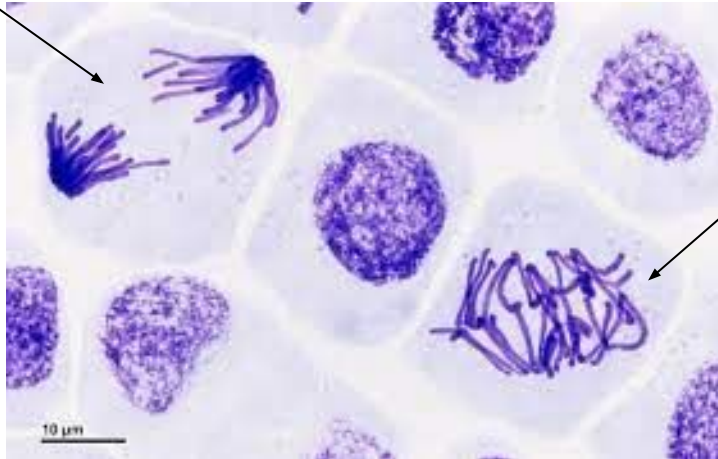




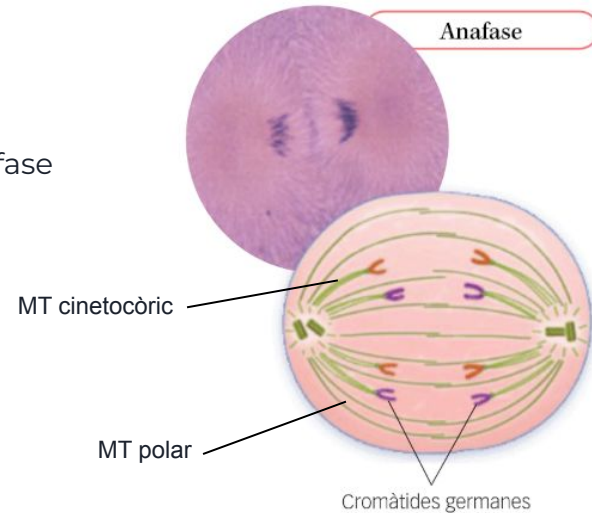
2.3. Anafase

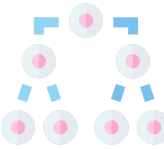
- **Separació** de les **cromàtides germanes** de cada cromosoma, **cadascuna és arrossegada cap a un pol** de la cèl·lula (despolimerització MT cinetocòrics)
- **Distanciament** dels **pols cel·lulars** (polimerització MT polars)
- **Cromosomes d'una sola cromàtide**

final anafase



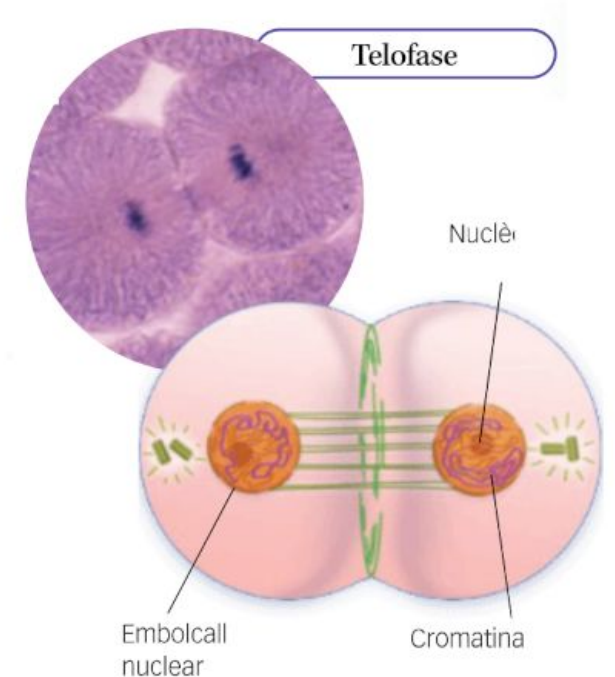
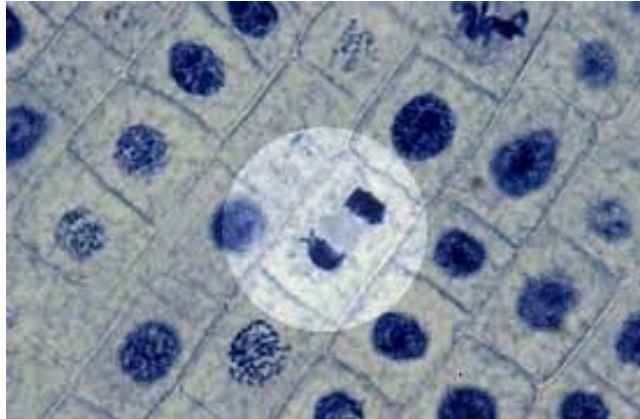
inici anafase

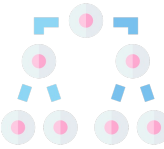




2.4. Telofase

- **Desintegració** del **fus mitòtic**
- **Formació** de **2 embolcalls nuclears**
- **Descondensació** dels cromosomes formant la **cromatina**
- **Aparició** del **nuclèol**





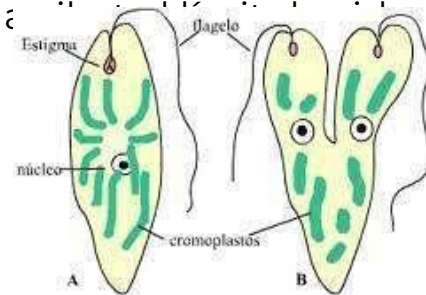
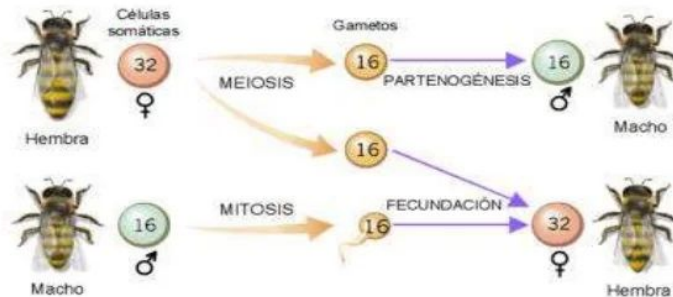
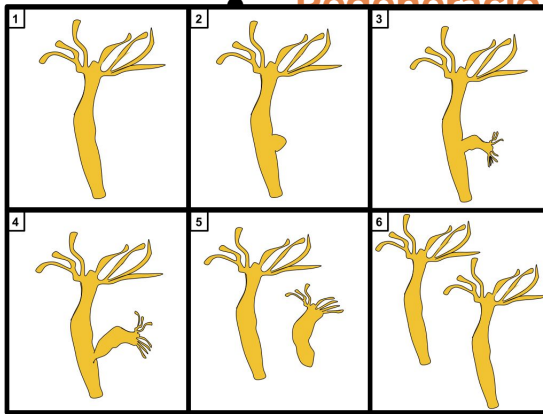
2.5. Significat biològic de la mitosi

Procés necessari per:

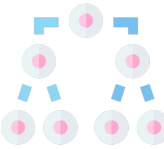
- **Reproducció asexual:** en **eucariotes unicel·lulars** i **alguns pluricel·lulars** (plantes, esponges, anèl·lids, cnidaris, equinoderms...) i altres modalitats de reproducció
- **Creixement:** organismes **pluricel·lulars** → Augment del nombre de cèl·lules per mitosi a partir del zigot

Degeneració i reparació: organismes **pluricel·lulars** →

Noves cèl·lules per substituir danyades o que

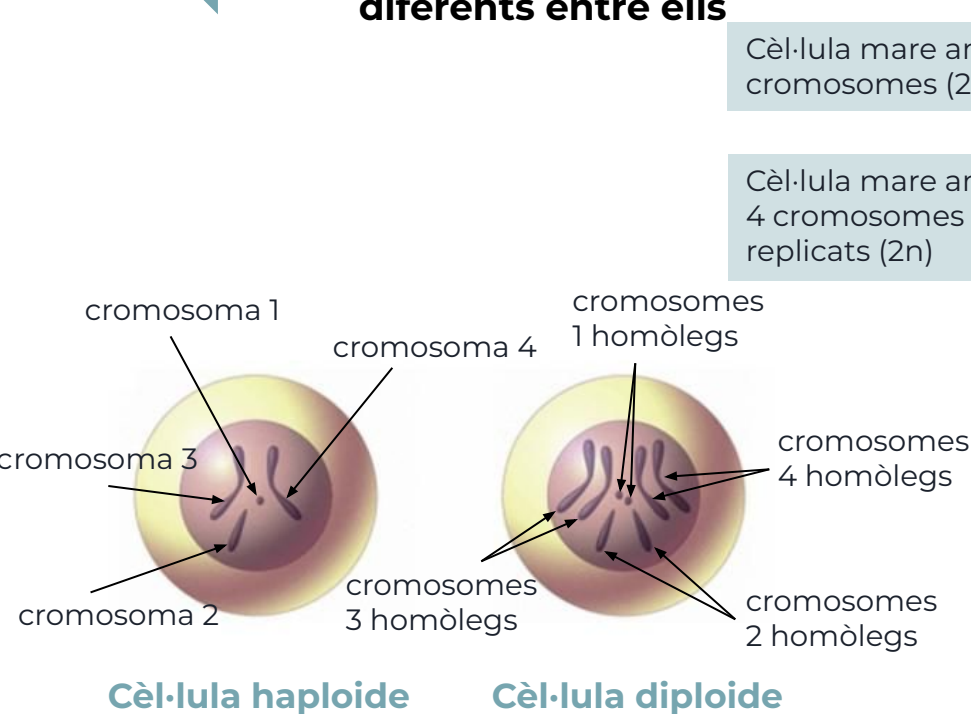


Euglena, A: individu, B: fase de divisió



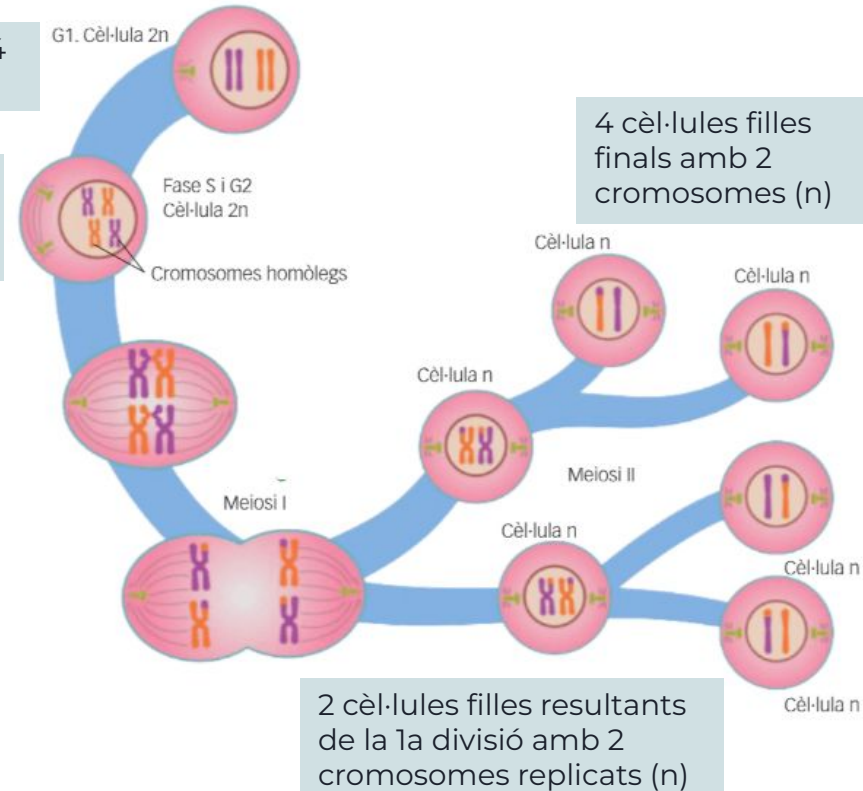
3. Meiosi

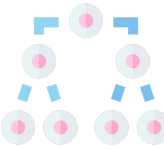
- Dóna lloc a **4 nuclis** fills amb la **meitat de material genètic** que el nucli mare i **diferents entre ells**



Cèl·lula mare amb 4 cromosomes ($2n$)

Cèl·lula mare amb 4 cromosomes replicats ($2n$)





3.1. Primera divisió meiòtica o meiosi I

- **Divisió reduccional** ➡ Reducció del núm. cromosomes ($2n \rightarrow n$)

Profase I

Leptotè

- Fase **més llarga** on tenen lloc les **etapes més característiques** de la meiosi:

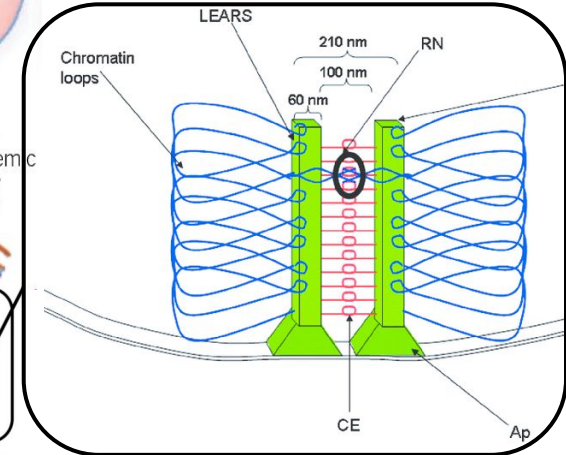
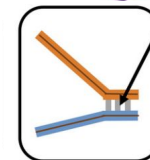
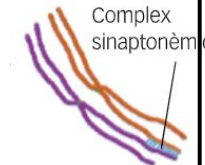
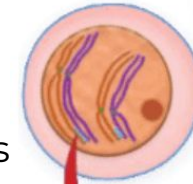
Leptotè

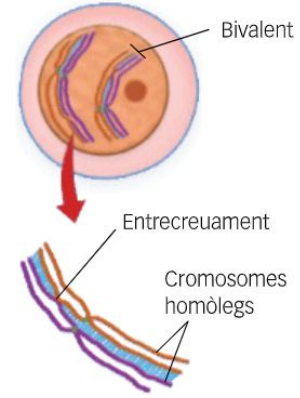
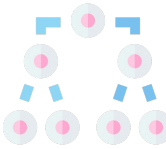
- **Condensació** de la **cromatina** (cromosomes formats per 2 cromàtides germanes)

Zigotè

- **Sinapsi** o **aparellament** dels **cromosomes homòlegs** (unió de cada gen amb el seu gen homòleg de l'altre cromosoma)
- Entre cromàtides unides hi ha un espai on trobem el **complex sinaptonèmic**

Zigotè

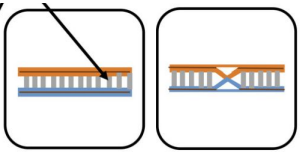




Paquitè

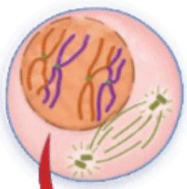
Paquitè

- **Formació** de les **tètrades** o **bivalents** (estructures formades per **4 cromàtides** i el **complex sinaptonèmic**)
- **Entrecreuament** ➡ **Intercanvi** de **fragments de DNA** entre cromàtides homòlogues unides pel complex sinaptonèmic (té lloc la **recombinació genètica** on es formen nous **cromosomes recombinants**, diferents als del nucli inicial)



Diploè

- **Degradació** del **complex sinaptonèmic** i **separació incompleta** de les **tètrades**
- Les cromàtides homòlogues queden unides pels punts on hi ha hagut entrecreuament, els **quiasmes** (estructura en forma de X)



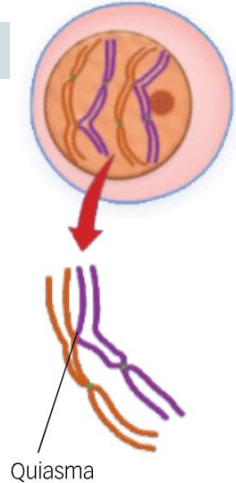
Diacinesi

- Més **condensació** de la **cromatina**
- **Desaparició** de l'**embolcall nuclear**
- **Formació** del **fus mitòtic**



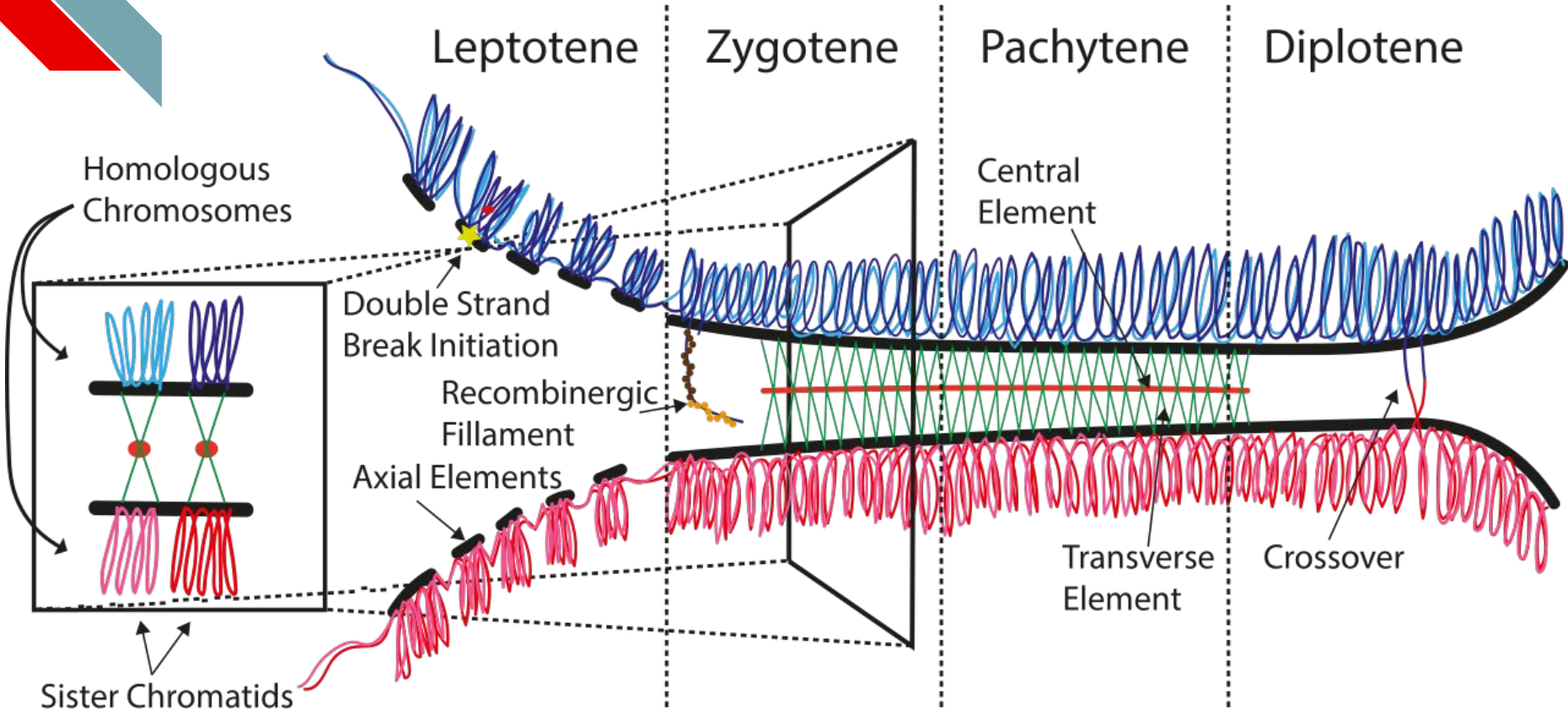
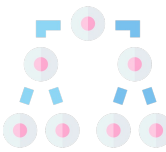
Diacinesi

Diploè



Quiasma

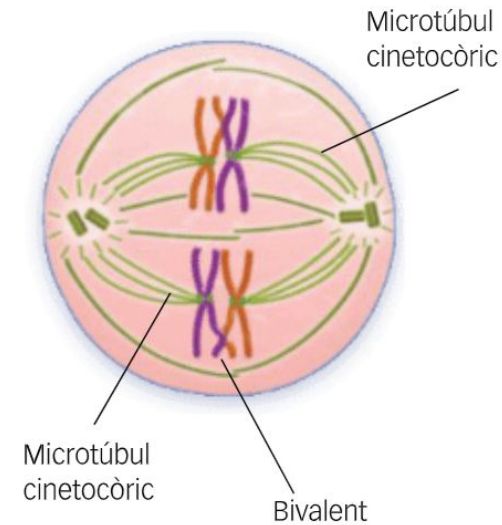




Metafase I

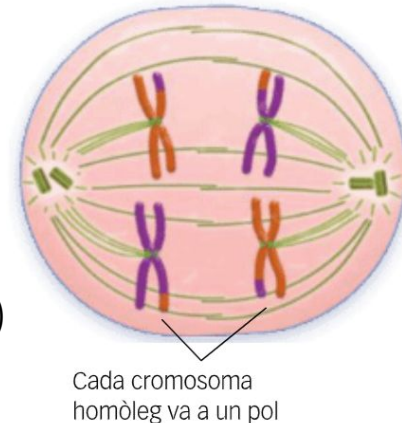
- Més **condensació** dels **cromosomes**
- **Unió** del **fus mitòtic** al **cinetocor** de cada cromosoma homòleg
- **Desplaçament** de les **tètrades** (units pels **quiasmes**) a l'**equador** de la cèl·lula

Tem:



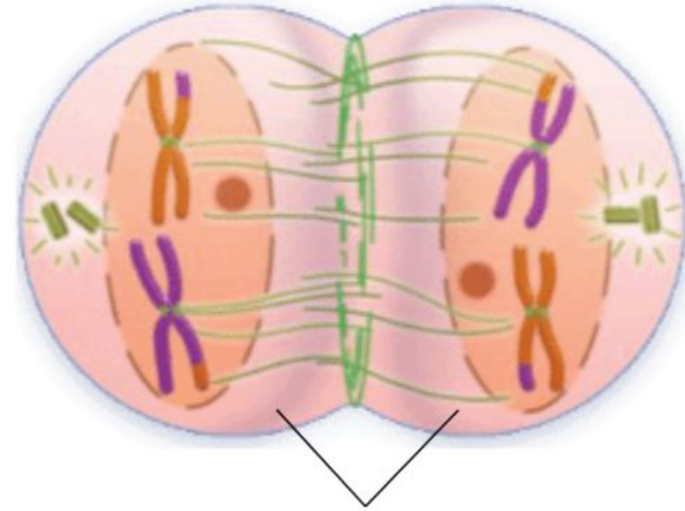
Anafase I

- **Segregació** ➡ **Trencament** dels **quiasmes** i **separació** dels **cromosomes homòlegs** de cada tètrada, **cadascun és arrossegat cap a un pol** de la cèl·lula (despolimerització MT cinetocòrics)
- **Distanciament** dels **pols cel·lulars** (polimerització MT polars)
- **Meitat** de **cromosomes** i de **2 cromàtides**



Telofase I

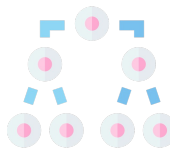
- **Desintegració** del **fus mitòtic**
- **Formació** de **2 embolcalls nuclears**
- **Descondensació lleugera** dels **cromosomes**



Es formen dues cèl·lules haploides amb cromosomes de dues cromàtides

Citocinesi i interfase

- **Divisió** del **citoplasma**
- Interfase **sense duplicació de DNA** però amb **duplicació de centrosomes**



3.2. Segona divisió meiòtica o meiosi II

- **Similar a la mitosi** ($n \rightarrow n$)

Profase II

- **Desaparició** de l'**embolcall nuclear**, **formació** del **fus mitòtic** i **unió** del **fus mitòtic** al **cinetocor**

Metafase II

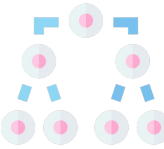
- **Desplaçament** dels **cromosomes** a l'**equador** de la cèl·lula

Anafase II

- **Separació** de les **cromàtides germanes** de cada cromosoma, **cadascuna és arrossegada cap a un pol** de la cèl·lula

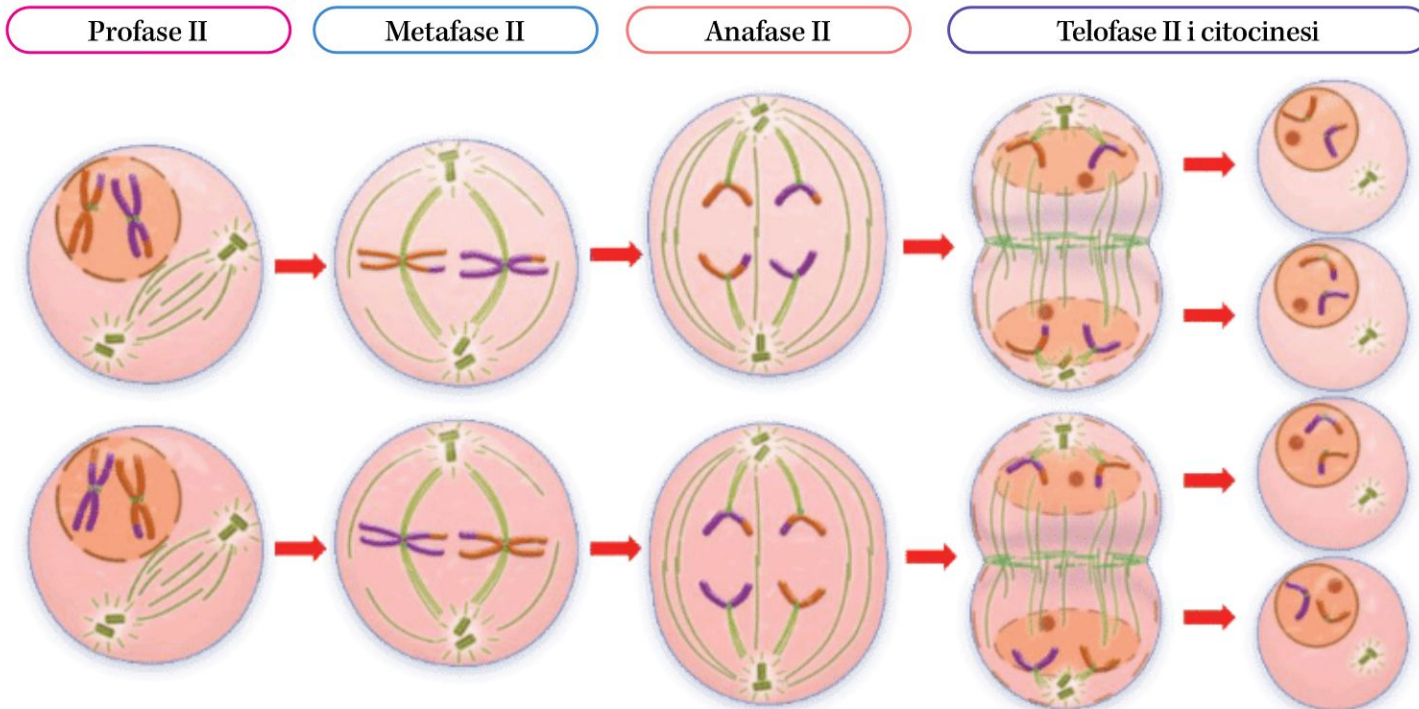
Telofase II

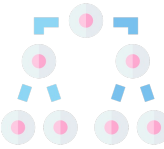
- **Formació** dels **embolcalls nuclears** i **descondensació** dels cromosomes formant la **cromatina**



Citocinesi

- **Divisió** dels **citoplasmes** per donar lloc a **quatre cèl·lules filles haploides (n)**

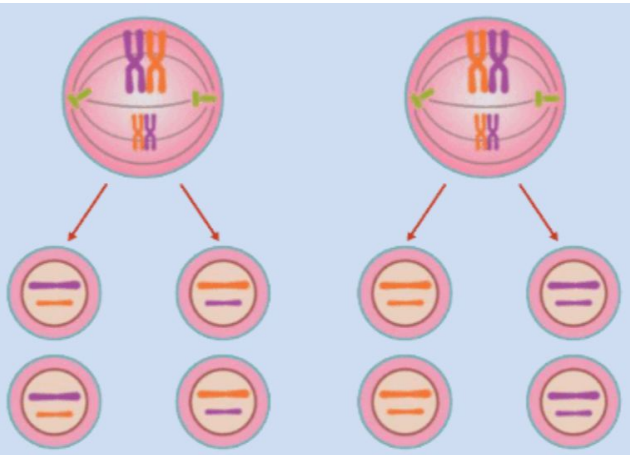




3.3. Significat biològic de la meiosi

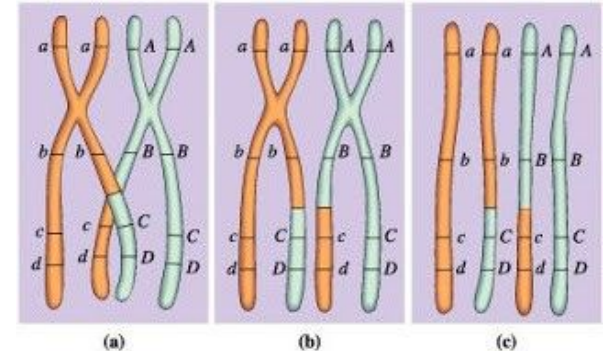
Procés responsable de la **reproducció sexual** ja que permet;

- **Mantenir constant el nombre de cromosomes de l'espècie**: unió de **2 gàmetes haploides (n)** generats per meiosi per formar un **zigot diploide (2n)**
- **Generar variabilitat genètica**: les **cèl·lules filles són diferents**

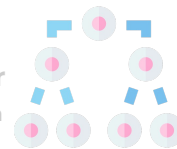


possibles **combinacions d'orientacions de les tètades** en la metafase

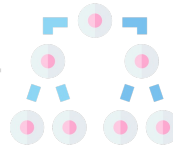
entrecreuaments de la profase I



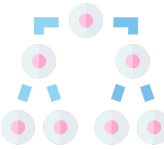
3.4. Comparació entre mitosi i meiosi



	Mitosi	Meiosi
Tipus de cèl·lules que es divideixen (dotació crom)		
Nombre i tipus de cèl·lules que es formen		
Nombre de divisions nuclears		
Nombre de citocinesis		
Punts clau on difereixen		
Separacions cromosòmiques que es produeixen		
Plaques equatorials que es formen		
Funció		



	Mitosi	Meiosi
Tipus de cèl·lules que es divideixen (dotació crom)	n i $2n$	$2n$
Nombre i tipus de cèl·lules que es formen	2 idèntiques a la cèl·lula mare	4 diferents i amb dotació n
Nombre de divisions nuclears	1	2
Nombre de citocinesis	1	2
Punts clau on difereixen	Profase	Profase I (sinapsi i entrecreuament)
Separacions cromosòmiques que es produeixen	Anafase (cromàtides germanes)	Anafase I (cromosomes homòlegs) Anafase II (cromàtides germanes)
Plaques equatorials que es formen	Metafase (cromosomes independents)	Metafase I (tètrades) Metafase II (cromosomes independents)
Funció	Reproducció asexual, creixement i renovació cel·lular	Reproducció sexual



Reproducció asexual

- **Senzilla** → **no consumeix energia** produint gàmetes ni buscant una altra cèl·lula progenitora
- **Ràpida** → pot produir **molts descendents** en poc temps (colonitzar nous ambients)

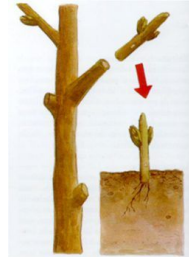


Divisió binària



Gemmació

Esporulació



Multiplicació vegetativa (esqueixos, bulbs., tubercles...)

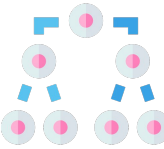


Fragmentació

Reproducció sexual

- **Variabilitat genètica** → **descendents diferents** dels progenitors i entre ells, si es produeixen canvis ambientals, probablement algun descendent tindrà **característiques per estar ben adaptat**
- **Costosa i lenta** → **consumeix energia** i s'obtenen **pocs descendents** i en un període de temps que pot ser llarg



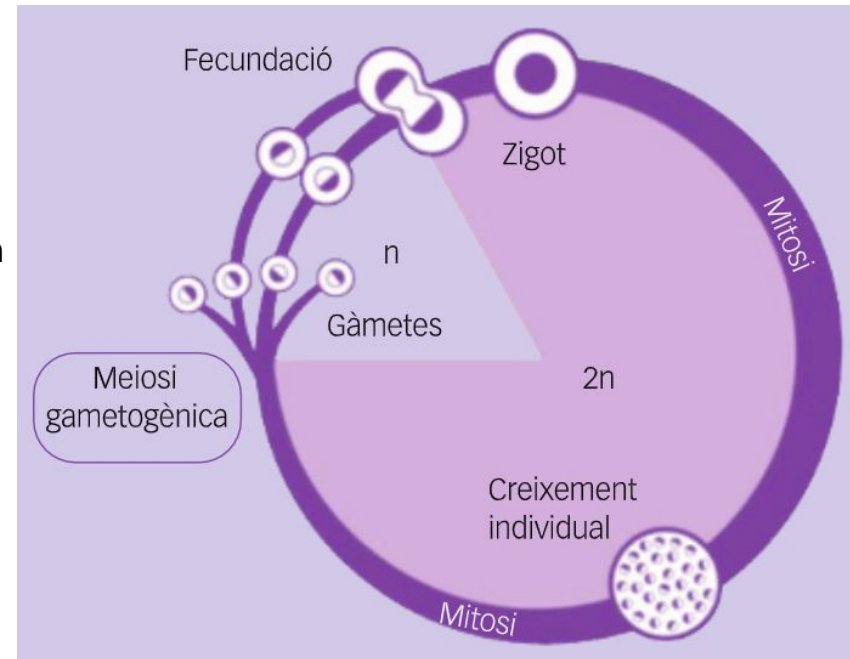


4. Els cicles biològics

Cicle biològic → **conjunt d'etapes** per les quals passa un organisme des que es forma el **zigot fins** que adquireix la capacitat de formar **gàmetes**

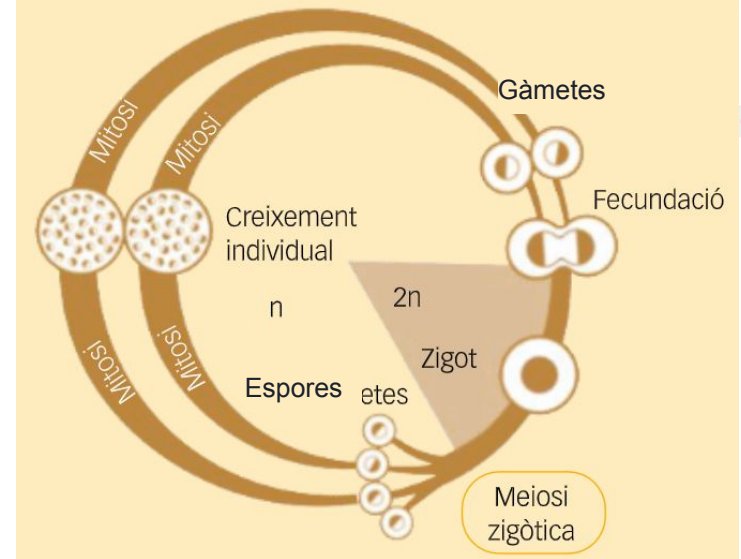
4.1. Cicle diplont

- **Adults diploides ($2n$)** que produeixen **gàmetes haploides (n)** per formar un **zigot diploide ($2n$)**
- **Meiosi gametogènica** → **gàmetes haploides (n)**
- En **animals**, alguns **protozous** i **algues**



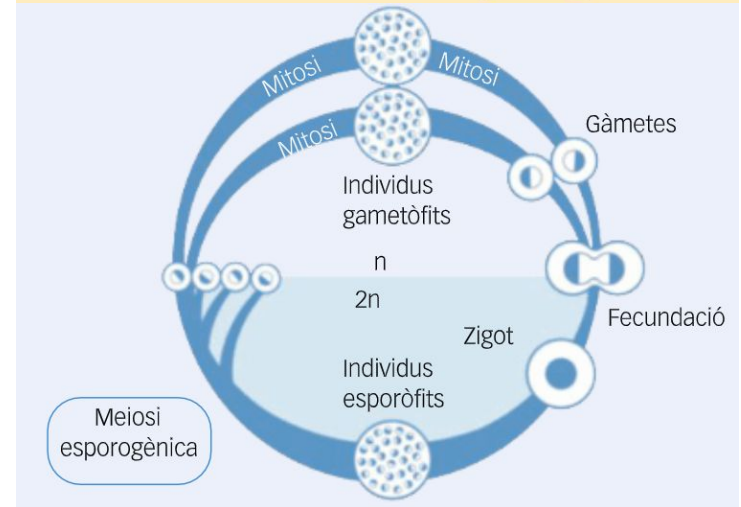
4.2. Cicle haplont

- **Adults haploides (n)** que produeixen **gàmetes haploides (n)** per formar un **zigot diploide ($2n$)**
- **Meiosi zigòtica** ➡ **espores haploides (n)**
- En la majoria d'**algues** i **fongs**

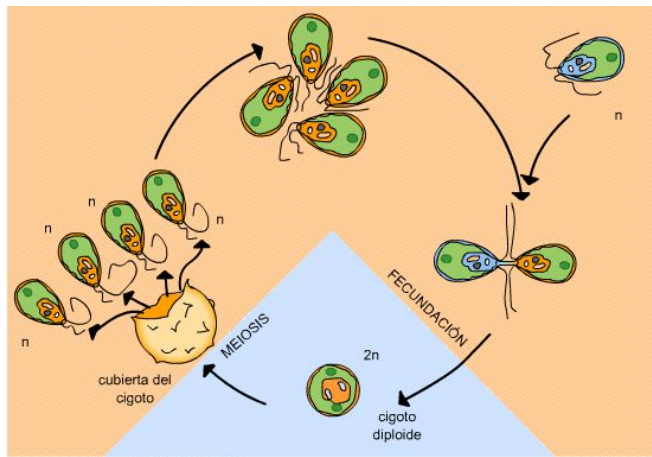
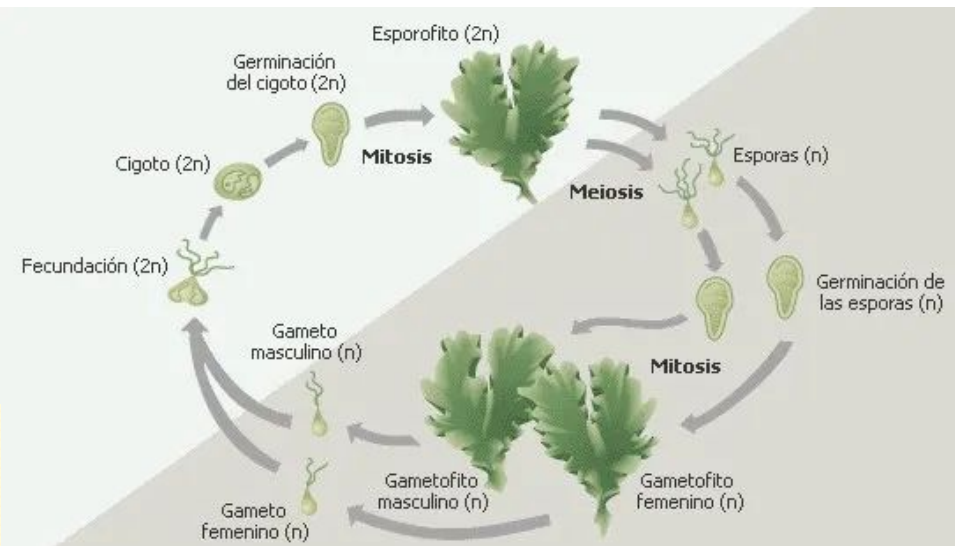
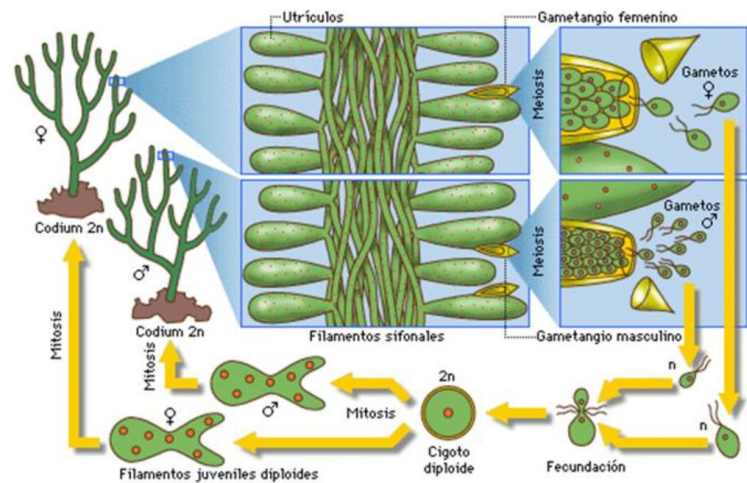


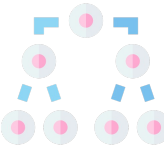
4.3. Cicle diplohaplont

- **Adult esporòfit diploide ($2n$)** que dona lloc a **adult gametòfit haploide (n)** que produeix **gàmetes haploides (n)**
- **Meiosi esporogènica** ➡ **espores haploides (n)**
- En **plantes** i algunes **algues** i **fongs**



Quins tipus de cicles biològics tenen els següents organismes?





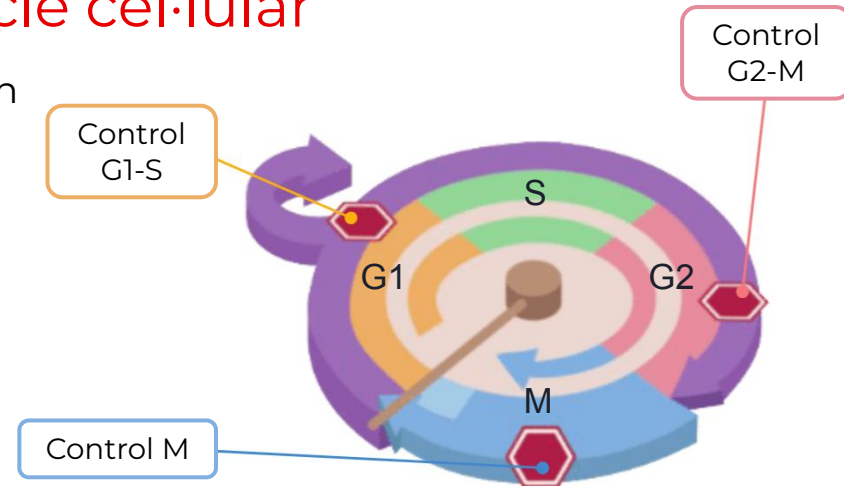
5. El control del cicle cel·lular i el càncer

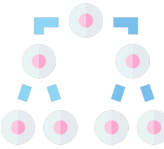
Cicle cel·lular **molt regulat** → si les condicions no són favorables no hi ha divisió

- **Condicions internes** de la cèl·lula: dotació cromosòmica, orgànuls, DNA malmès...
- **Condicions externes**: falta d'espai, pocs nutrients, senyals externes...

5.1. Punts de control del cicle cel·lular

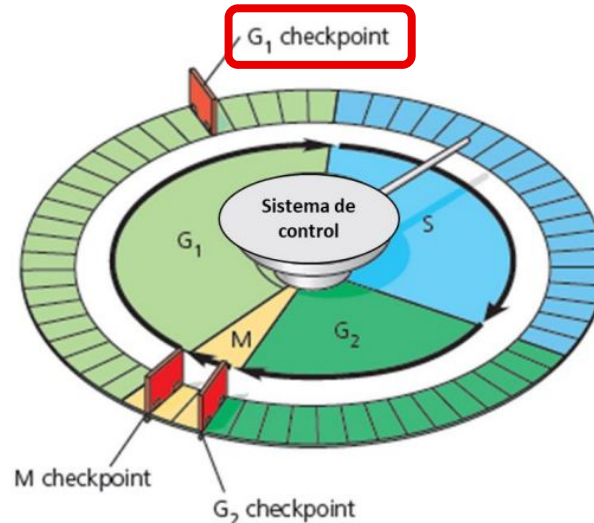
Moments del cicle cel·lular on es revisen les condicions per **permetre o no la continuació del cicle cel·lular**

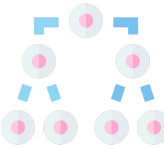




Control G1-S

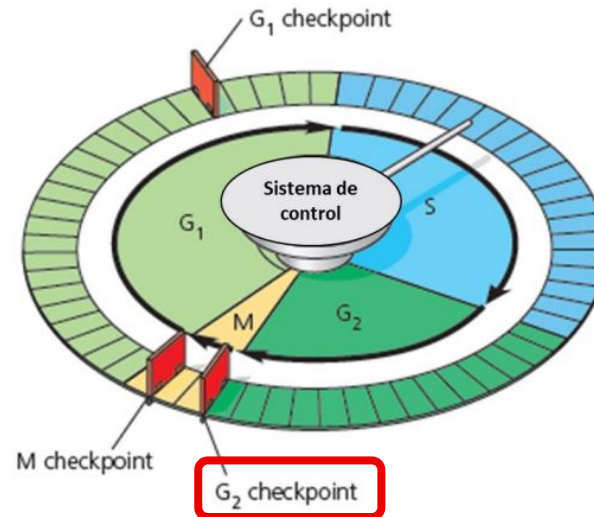
- També se'l coneix com a **punt R**, **punt de no retorn** o **punt de restricció**
- Es troba **al final de G₁**, si la cèl·lula supera el control segueix amb la fase S
- Es comprova que el **DNA no estigui malmès** i que les condicions de la cèl·lula siguin les adequades (**mida** cel·lular i **senyals externes** que estimulin o inhibeixin la divisió)

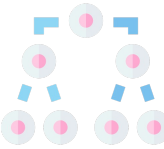




Control G2-M

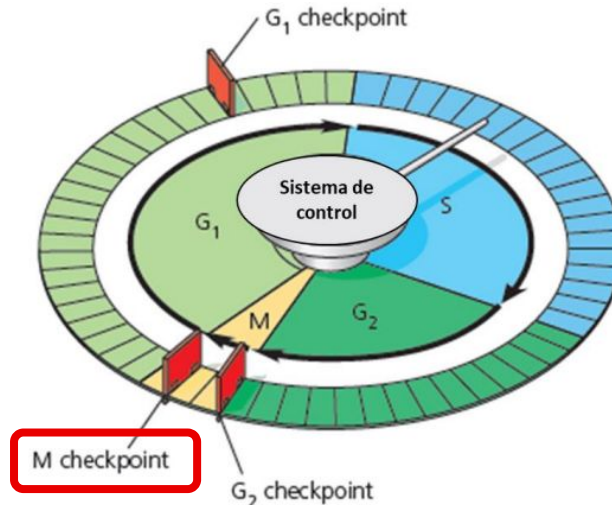
- Es troba **al final de G2**, si la cèl·lula supera el control segueix amb la fase M
- Es comprova que el **DNA no estigui malmès** i que s'hagi **replicat correctament**
- Si no supera el control { s'atura el cicle en G2 per **reparar els errors**
es produeix la **mort cel·lular** si els danys són irreparables

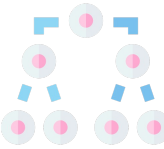




Control M

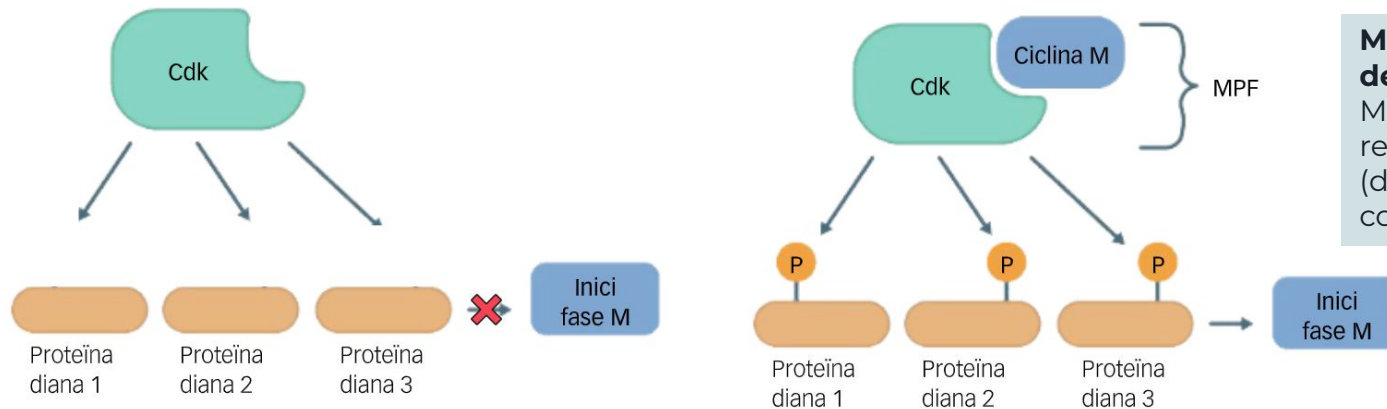
- Es troba **entre la metafase i l'anafase**, si la cèl·lula supera el control es produeix l'anafase
- Es comprova que cada **cromosoma estigui unit al fus acromàtic** corresponent
- Si no supera el control s'atura la divisió fins que la unió sigui correcta



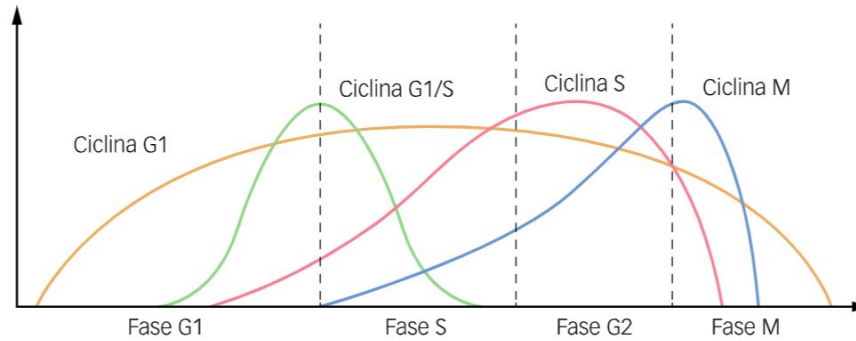
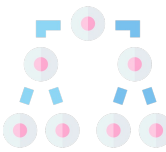


5.2. Molècules reguladores del cicle cel·lular

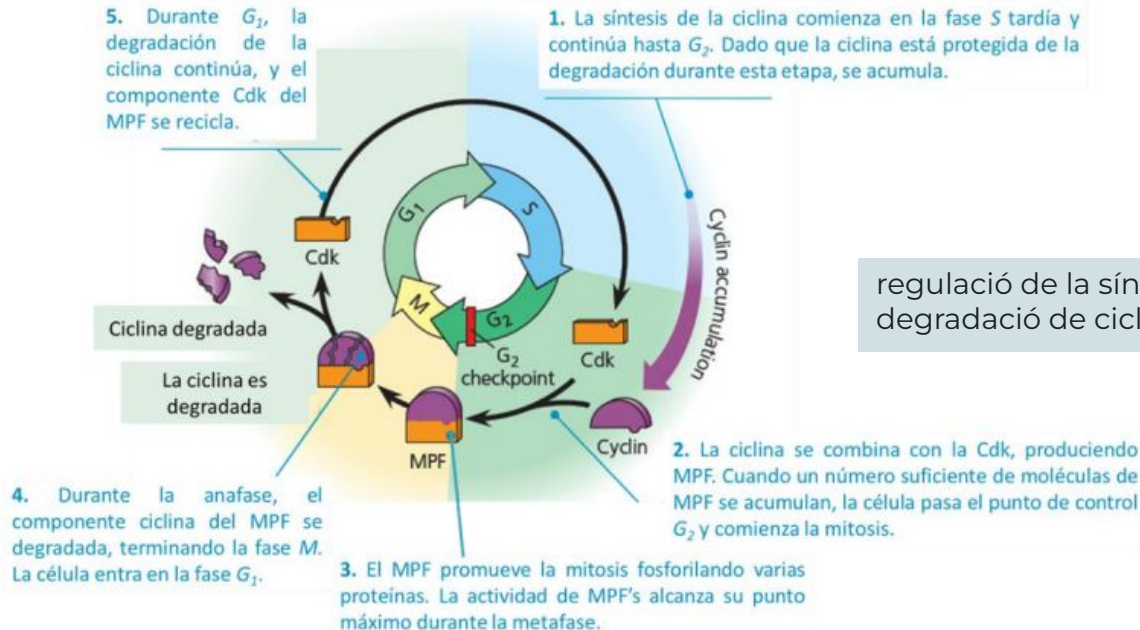
- **Quinases dependents de ciclina (Cdk)** ➡ **Fosforil·len** altres proteïnes (les **proteïnes diana**) per **activar-les**, només quan estan **unides a ciclins**
- **Ciclins** ➡ **S'uneixen** a les **Cdk** per **activar-les i dirigir-les** cap a unes proteïnes diana concretes
 - ➡ Hi ha **4 tipus de ciclins** diferents
 - ➡ Les **concentracions** de cada ciclina **varien cíclicament** al llarg del cicle cel·lular



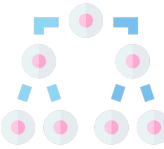
MPF és el **factor promotor de la fase M** (Cdk + ciclina M) que fosforil·la proteïnes relacionades amb la mitosi (degradació embolcall, condensació cromosomes...)



concentracions de les
diferents ciclines al llarg
del cicle cel·lular

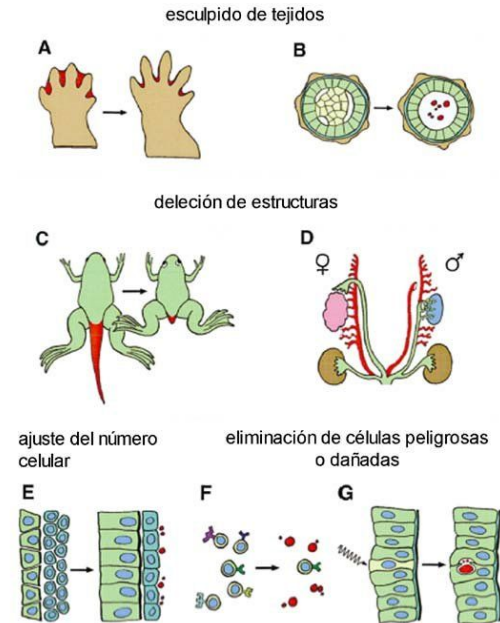
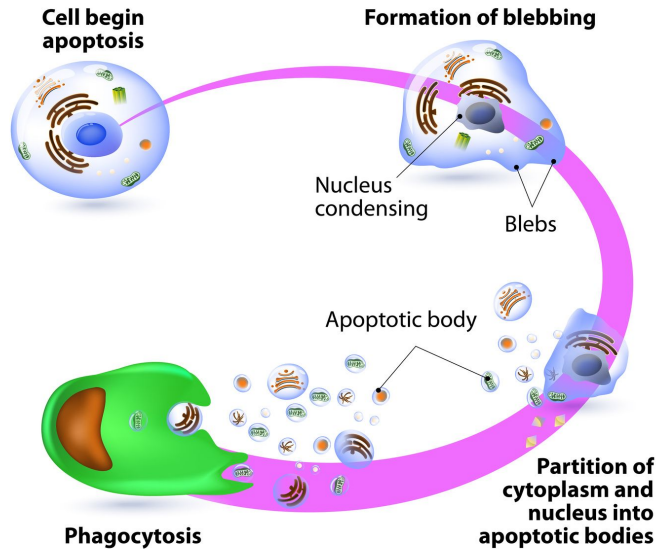


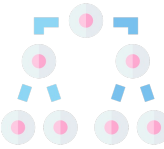
regulació de la síntesi i
degradació de ciclina M



5.3. Apoptosi

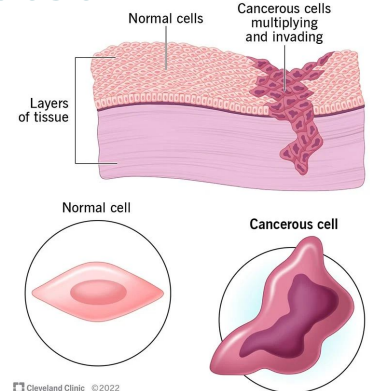
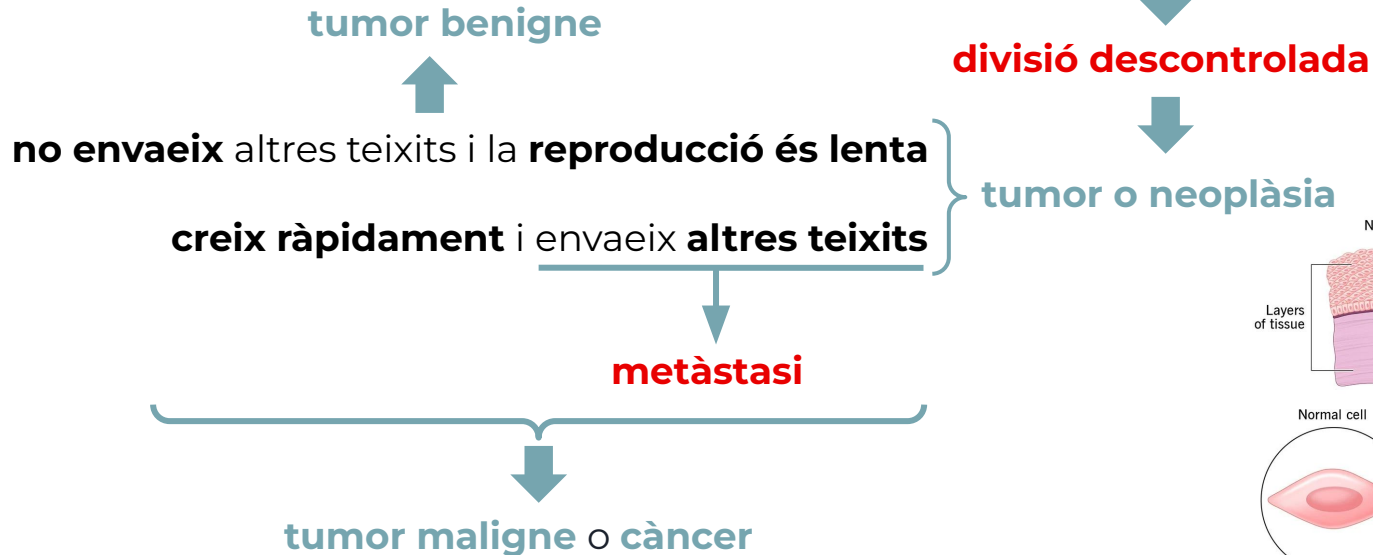
- És una **mort cel·lular programada** → hi ha d'haver equilibri entre les **cèl·lules generades** i les **cèl·lules mortes**
- Cèl·lules **danyades** o **no desitjades** → Activació **transcripció de gens** que porten la cèl·lula a la mort

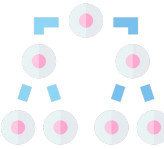




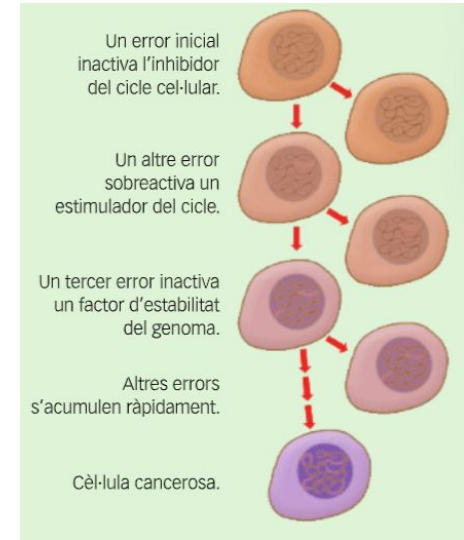
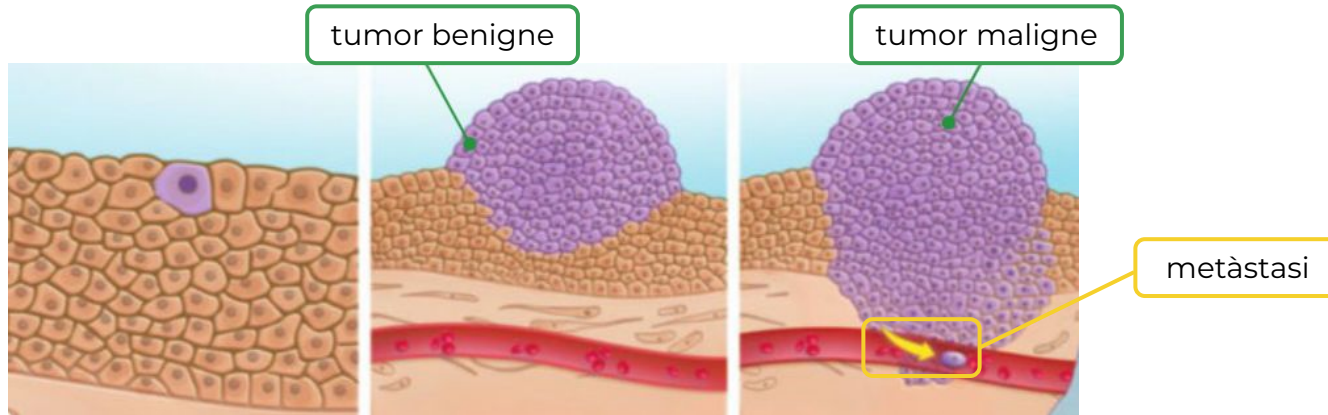
5.4. Càncer

- Aproximadament **10 milions de morts** l'any ➡ supervivència s'ha duplicat en els últims 40 anys
- Cèl·lules canceroses** ➡ capacitat de **regular cicle cel·lular alterada**

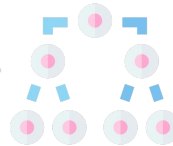




- Es desenvolupa per **acumulació d'errors** en els **gens encarregats de controlar el cicle cel·lular**
 - **Gens inhibidors del cicle** ➡ **detenen la divisió** o **produeixen l'apoptosi** al detectar errors. A l'estar alterats, una cèl·lula amb danys pot seguir dividint-se
 - **Gens estimuladors de la divisió** ➡ **promouen la divisió**. Si són massa actius les cèl·lules poden **dividir-se indefinidament** obviat estímuls i senyals

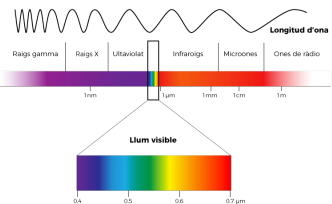


5.5. Agents carcinògens i hàbits de vida saludable



- **Agents carcinògens** o **cancerígens** → Agents que provoquen **càncer**

Agents físics



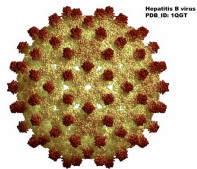
- **Raigs UV** del Sol
- **Raigs X**
- **Radiacions ionitzants** (desintegracions nuclears: rajos α , β i γ)

Agents químics



- **Benzopirens** del fum del tabac
- **Alcohol**
- **Aflatoxines** (toxines de fongs que poden trobar-se en aliments)
- **Arsènic** que pot estar a l'aigua
- **Amiant** que s'utilitza en construcció

Agents biològics



- **Virus del papil·loma humà** que pot provocar càncer del coll uterí
- **Virus de l'hepatitis B** que pot causar càncer de fetge
- **Bacteri *Helicobacter pylori*** que pot provocar càncer d'estómac

