

UP11. Cicle cel·lular

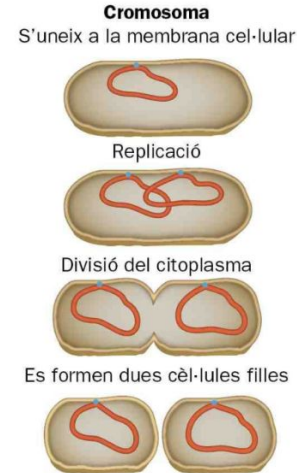
1. Introducció

El **cicle cel·lular** és el **conjunt ordenat de processos** que permeten a una cèl·lula **créixer, duplicar el seu material genètic i dividir-se** per donar lloc a dues cèl·lules filles.

Es tracta d'un mecanisme fonamental per al creixement, la reparació i el manteniment dels teixits dels **organismes pluricel·lulars**, així com per a la reproducció dels **organismes unicel·lulars**.

En el cas de les **cèl·lules procariotes**, els creixement i la reproducció són molts ràpids, ja que tenen una vida mitja curta.

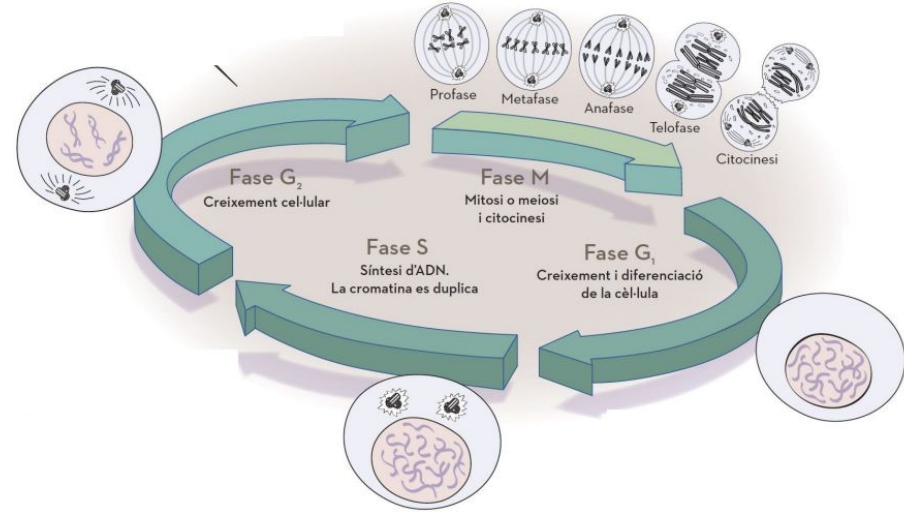
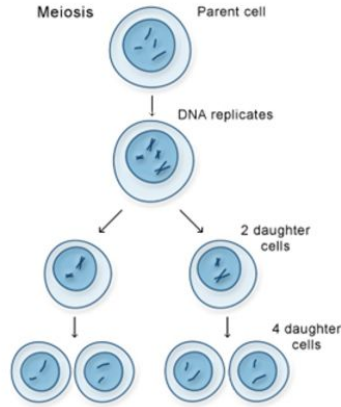
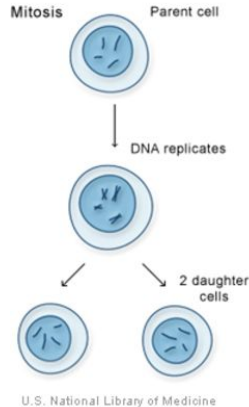
- Repliquen el seu material genètic.
- Separen les dues molècules d'ADN.
- Divideixen el citoplasma per bipartició.
- Es formen les dues cèl·lules filles.



1. Introducció

En el cas de les **cèl·lules eucariotes pluricel·lulars** el mecanisme és més complex, de manera que es poden diferenciar dos tipus de divisió cel·lular segons el **nombre de cromosomes** de les cèl·lules filles:

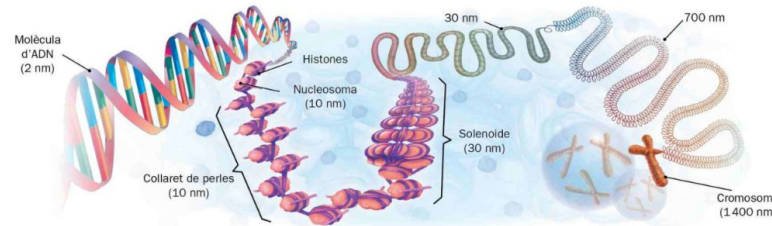
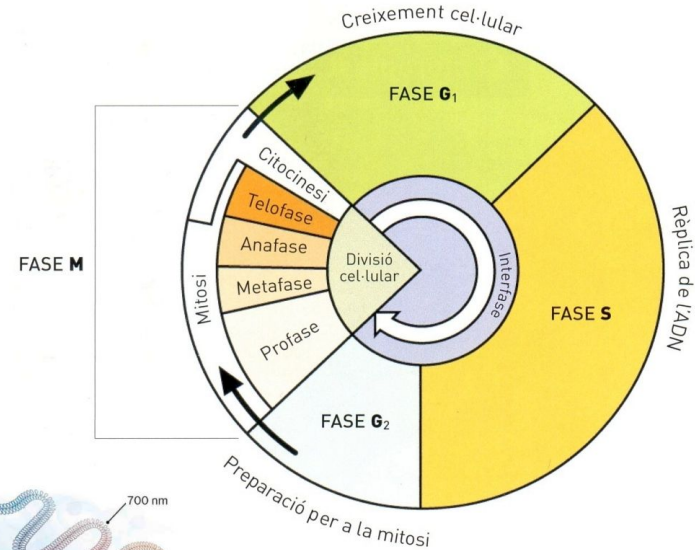
- **Divisió cel·lular amb mitosi i citocinesi** → les cèl·lules filles contenen el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare.
- **Meiosi** → les cèl·lules filles contenen la meitat dels cromosomes de la cèl·lula mare. Procés a partir del qual es formen els gàmetes.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

És la seqüència de modificacions que pateix una cèl·lula **des de que es forma fins que es reproduïx**, és a dir, fins que es divideix en dues cèl·lules filles. S'hi distingeixen dues etapes:

- **Interfase** → període entre una fase de divisió i la següent.
És la etapa més llarga i inclou tres fases:
 - Fase G₁
 - Fase S
 - Fase G₂
- **Divisió o fase M** → és el moment en que es produeix la divisió cel·lular per donar lloc a les dues cèl·lules filles.
Engloba dos processos:
 - **Cariocinesi o mitosi** → divisió del nucli
 - **Citocinesi** → divisió del citoplasma



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

La **interfase** és el període del cicle cel·lular **comprès entre dues divisions cel·lulars consecutives**. Durant aquesta etapa, **la cèl·lula no es divideix**, però realitza una intensa activitat metabòlica: creix, sintetitza proteïnes i duplica el seu ADN per preparar-se per a la següent divisió.

Fase G1

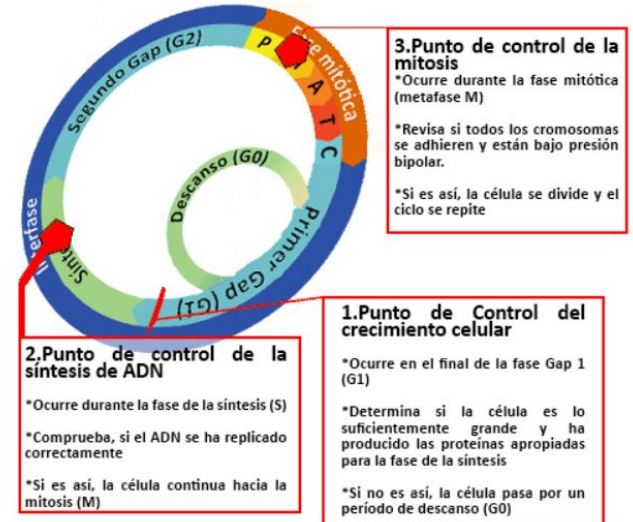
És la primera etapa de la interfase, just després de la divisió cel·lular (mitosi o meiosi).

Es tracta d'una **fase de creixement i diferenciació cel·lular**.

Al final de la fase G1 hi ha un punt de control o **punt de no-retorn** (anomenat en les cèl·lules dels mamífers com a **punt de restricció (R)**)



A partir d'aquest moment ja és impossible impedir que ocorrin les següents fases



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

Fase G1

Quins processos hi ocorren?

- **Creixement cel·lular** → Augment del volum citoplasmàtic i del nombre d'orgànuls.
- **Síntesi d'ARNm i proteïnes** → Especialment enzims i proteïnes estructurals necessàries per a la replicació de l'ADN i per a la divisió cel·lular.
- **Diferenciació cel·lular** → En algunes cèl·lules, abans d'arribar al punt R, algunes cèl·lules no continuen el cicle cel·lular, sinó que surten d'ell i inicien un procés de diferenciació. Aquestes cèl·lules abandonen el cicle i passen a una etapa anomenada **fase G₀**.
 - Les cèl·lules que es troben en fase G₀ poden seguir dues vies:
 - **Poden tornar a la fase G1** sota l'efecte d'activadors i arribar al punt R.
 - Hepatòcits (cèl·lules del fetge): normalment en G₀, però poden dividir-se si hi ha dany hepàtic.
 - **Poden quedar retingudes en aquesta fase G₀** i no reproduir-se mai, com és el cas de les **neurones** o els **eritròcits**.

2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

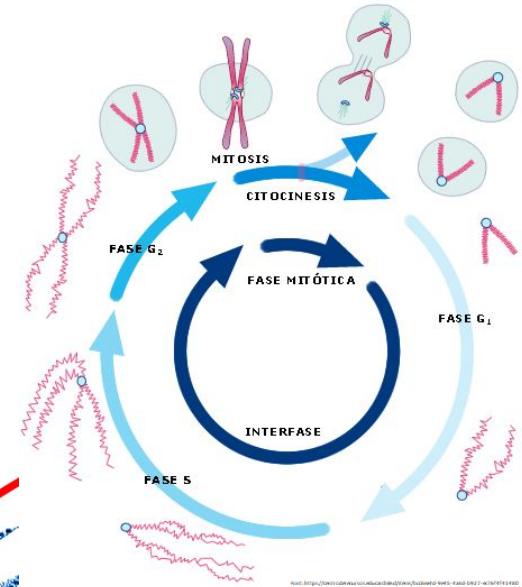
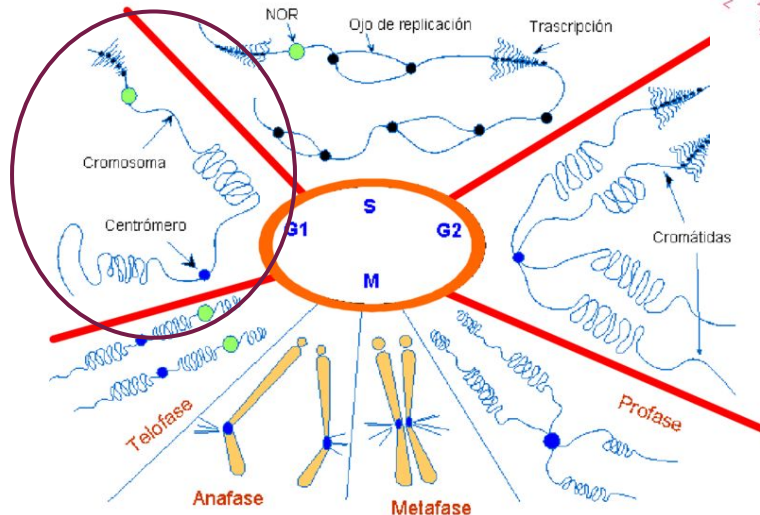
Fase G₁

Durant la fase G₁ del cicle cel·lular:

Els cromosomes encara no s'han replicat, per tant **cada cromosoma està format per una sola cromàtide.**

Aquesta cromàtide és la molècula d'ADN simple que, juntament amb les histones i altres proteïnes, constitueix la cromatina **eucromatina**.

- Aquesta configuració permet que els gens estiguin actius per a la transcripció, mentre la cèl·lula creix i es prepara per a la replicació de l'ADN que tindrà lloc en la fase S.



Regió Organitzadora del Nuclèol (NOR)

Zona específica dels cromosomes on es troben els gens que codifiquen els ARN ribosòmics (ARNr).

Aquestes regions controlen la formació del nuclèol dins del nucli

2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

Fase S

La fase S és la **segona etapa de la interfase**, immediatament després de la fase G₁. Durant aquesta fase, la cèl·lula **duplica tot el seu ADN** per preparar-se per a la futura divisió cel·lular. Aquesta fase és clau, ja que **garanteix que cada cèl·lula filla rebi una còpia completa del genoma**.

Quins processos hi ocorren?

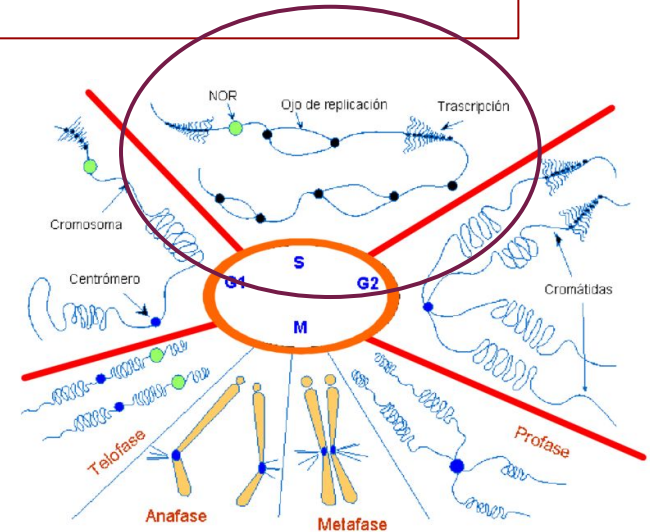
1. Replicació de l'ADN

Cada cromosoma, que en G₁ estava format per una sola cromàtide, es duplica, formant dues cromàtides germanes unides pel centròmer.

Això dóna lloc a cromosomes amb dues cromàtides, preparats per a la divisió posterior.

2. Síntesi de histones i altres proteïnes associades a l'ADN:

Necessàries per empaquetar correctament les noves cromàtides en forma de cromatina.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

Fase S

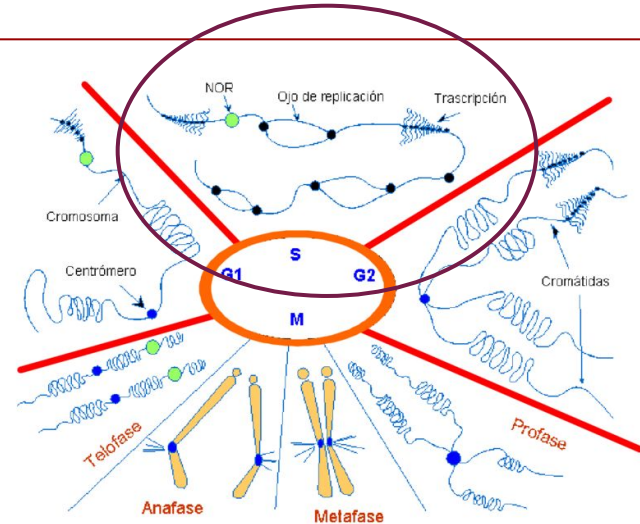
La fase S és la **segona etapa de la interfase**, immediatament després de la fase G₁. Durant aquesta fase, la cèl·lula **duplica tot el seu ADN** per preparar-se per a la futura divisió cel·lular. Aquesta fase és clau, ja que **garanteix que cada cèl·lula filla rebi una còpia completa del genoma**.

Quins processos hi ocorren?

3. Duplicació dels centríols en les cèl·lules animals

4. Manteniment de la integritat genètica:

Hi ha mecanismes de reparació de l'ADN que comproven que la replicació s'hagi fet correctament.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

Fase G₂

La fase G₂ és la tercera etapa de la interfase, després de la fase S i abans de la mitosi. Durant G₂ **la cèl·lula es prepara per a la divisió cel·lular**.

És una **fase de creixement final i control**, on la cèl·lula comprova que tot l'ADN estigui correctament replicat i que els components necessaris per a la mitosi estiguin disponibles.

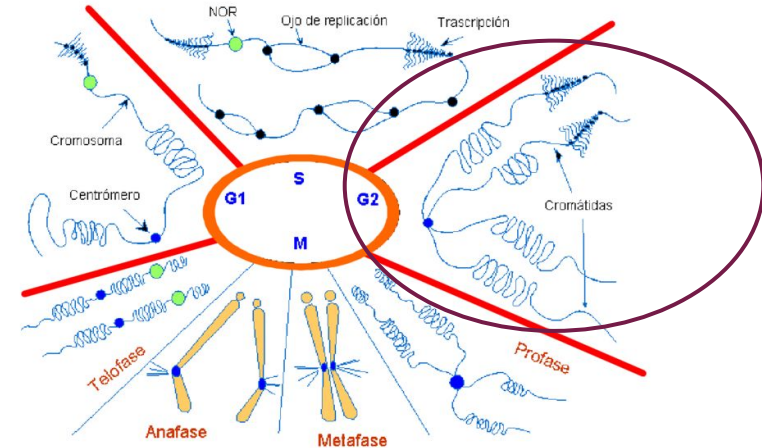
Quins processos hi ocorren?

1. Creixement cel·lular final

- La cèl·lula augmenta lleugerament de mida.
- Segueix la síntesi d'ARNm i proteïnes (sobretot **histona H1**, per fer fibres d'ADN de 300 Å, i les **proteïnes dels microtúbuls** que formaran el fus mitòtic).

2. Punts de control (checkpoint G₂/M)

- La cèl·lula comprova que l'ADN s'hagi replicat correctament i que no hi hagi danys. Si hi ha errors, es poden reparar abans de continuar.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.1 Interfase

Fase G₂

La fase G₂ és la tercera etapa de la interfase, després de la fase S i abans de la mitosi. Durant G₂ **la cèl·lula es prepara per a la divisió cel·lular**.

És una **fase de creixement final i control**, on la cèl·lula comprova que tot l'ADN estigui correctament replicat i que els components necessaris per a la mitosi estiguin disponibles.

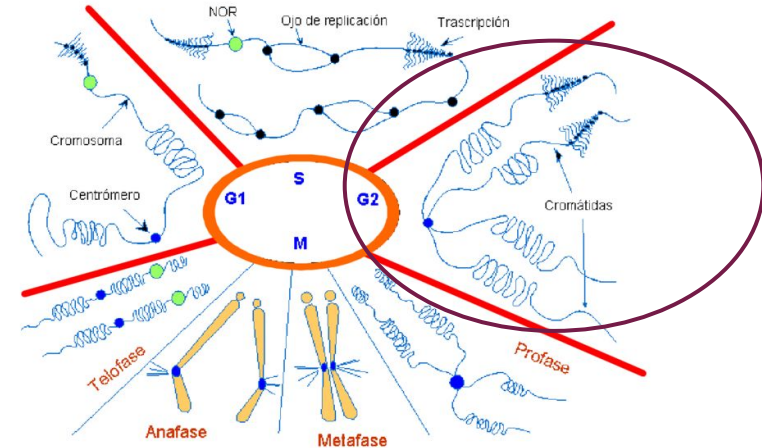
Quins processos hi ocorren?

3. Preparació de cromosomes

- Els cromosomes ja duplicats en la fase S comencen a preparar-se per condensar-se durant la mitosi.

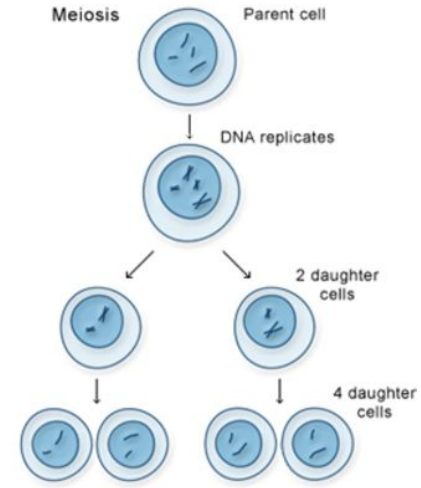
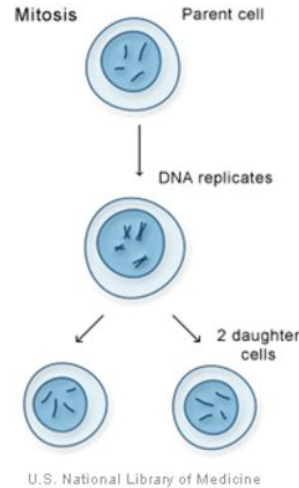
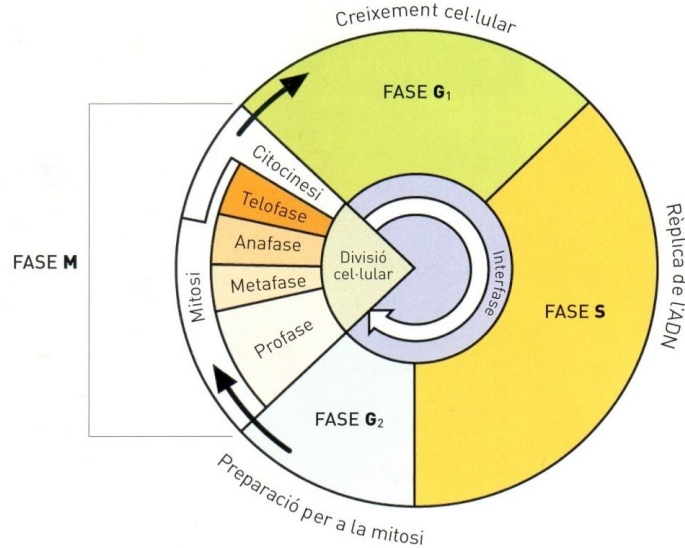
4. Formació del diplosoma

- Gràcies a que durant la fase S s'han duplicat els centríols.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - Mitosi

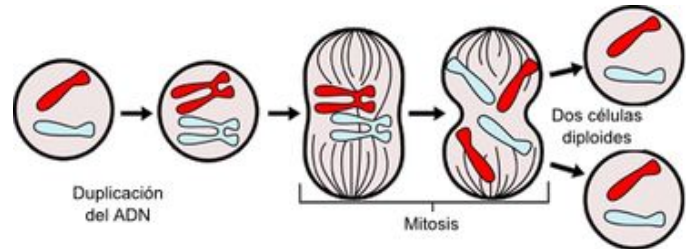
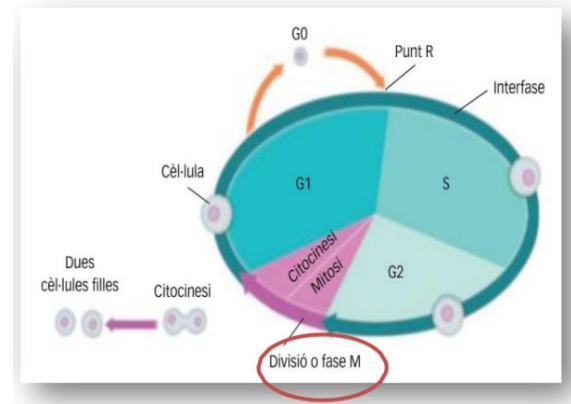
El **procés del cicle cel·lular** en què, a partir d'una cèl·lula mare neixen dues cèl·lules filles amb idèntica dotació cromosòmica que la progenitora, s'anomena **divisió cel·lular** o **fase M**. S'hi diferencien dos processos:

- **Mitosi o cariocinesi** → divisió del nucli
- **Citocinesi** → divisió del citoplasma

Mitosi o cariocinesi

Fa referència a la **divisió del nucli cel·lular** que es produeix quan s'han de generar dues cèl·lules filles amb el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare.

- En els éssers vius **diploides**, es pot definir com el procés mitjançant el qual a partir d'una cèl·lula amb **$2n$ cromosomes** s'obtenen **dues cèl·lules amb $2n$ cromosomes**, entenent que n és el nombre de tipus diferents de cromosomes que té l'individu.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - **Mitosi**

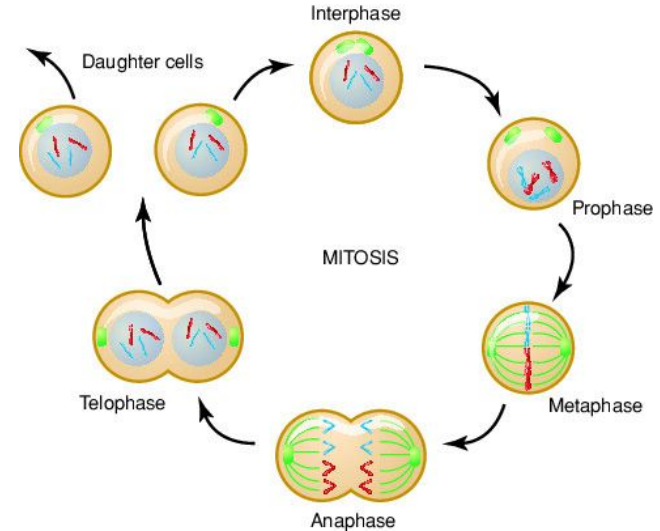
Mitosi o cariocinesi

Encara que la mitosi és un **procés continu**, per estudiar el que ocorre es divideix en quatre fases:

- **Profase**
- **Metafase**
- **Anafase**
- **Telofase**

PROFASE

La profase és la primera fase de la mitosi i marca l'inici de la divisió del nucli. Durant aquesta etapa, **la cèl·lula es prepara per separar el material genètic duplicat** de manera ordenada



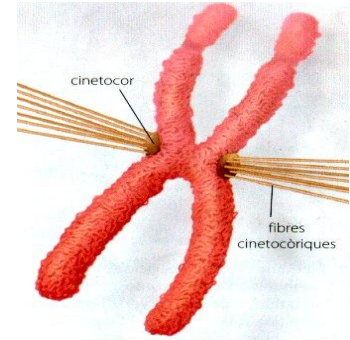
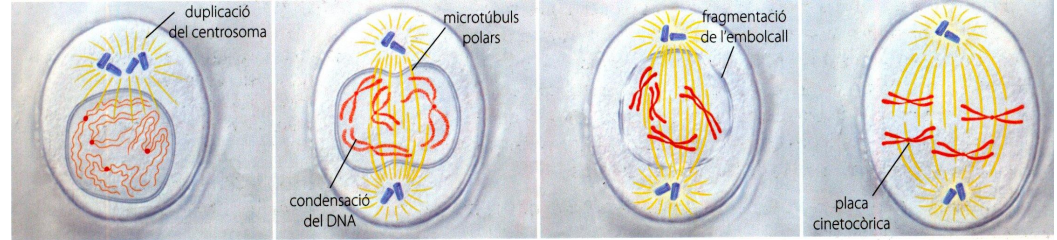
2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - Mitosi

Mitosi o cariocinesi

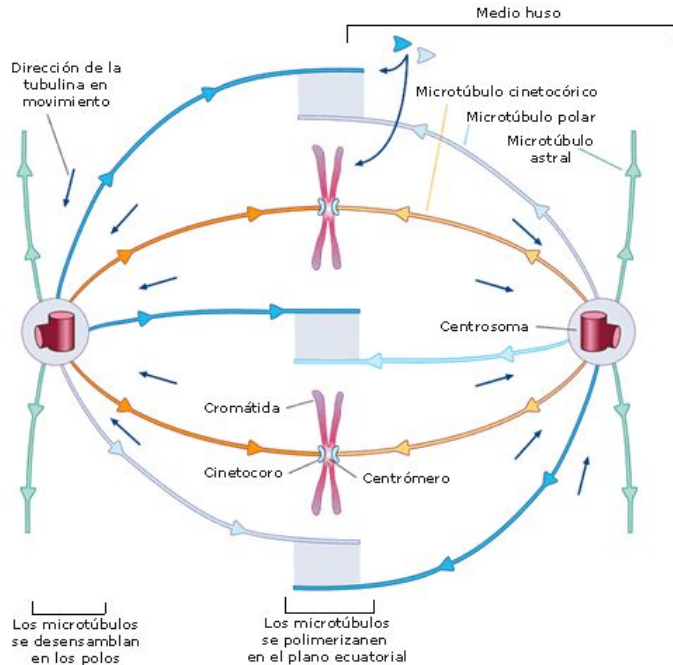
PROFASE

- Les dues fibres de cromatina ($100 \text{ \AA}$) s'enrotllen sobre si mateixes per formar, primerament, la fibra de cromatina de $300 \text{ \AA}$ i després les dues cromàtides, les quals quedaran unides a l'altura del centròmer donant lloc al **cromosoma profàsic**.
 - A causa d'aquesta condensació **desapareixen els nuclèols**, ja que l'ADN que regula la síntesi de l'ARN nucleolar queda encapsulat en els cromosomes.
- Es comença a formar el **fus mitòtic**. Els **centrosomes duplicats** durant la fase S s'allunyen l'un de l'altre impulsats per l'allargament dels **microtúbuls polars** o **fibres polars**.
 - L'allargament d'aquestes fibres provoca la separació dels centrosomes, constituint els **dos pols** de la cèl·lula en divisió.
- L'**embolcall nuclear es fragmenta**, fet que ocasiona que el nucleoplasma es dispersi al citosol.
- Els cromosomes, a l'altura del centròmer, forma en cada una de les cromàtides una estructura proteica anomenada **cinetocor** o **placa cinetocòrica**, que captarà els **microtúbuls cinetocòrics** del fus mitòtic, provinents del centrosoma.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

El **fus mitòtic** és un **conjunt de microtúbuls** que s'encarrega de moure i repartir els cromosomes durant la divisió cel·lular, assegurant una distribució correcta del material genètic entre les dues cèl·lules filles.



Tipus de microtúbul	Punt d'origen	Punt d'arribada	Funció
Cinetocòric	Centrosoma	Cinetocor (estructura del centròmer dels cromosomes)	Arrossegar els cromosomes cap als pòls durant la divisió
Polar		Centre del fus (zona equatorial), on s'encavalca amb microtúbuls provinents de l'altre pol	Separar els pòls i establitzar el fus
Astral		Perifèria del citoplasma	Fixar i orientar el fus dins la cèl·lula

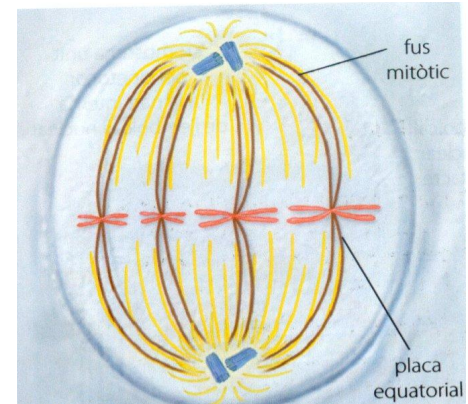
2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - Mitosi

Mitosi o cariocinesi

METAFASE

- És la **fase més llarga** i el moment on els **cromosomes** ja estan **completament condensats**, de manera que es fan visibles al microscopi òptic.
- Els **microtúbuls cinetocòrics** s'allarguen fins a situar tots els cromosomes a l'equador de la cèl·lula, formant la **placa metafàsica** o **equatorial**.
 - Cada una de les cromàtides s'orienta cap a un dels pols de la cèl·lula.
- Els **microtúbuls de l'àster** s'allarguen fins a **contactar amb la membrana plasmàtica**, la qual cosa permet:
 - Ancorar els centrosomes, impedit que els pols es desplacin.
 - Ajuda a orientar l'eix del fus
 - Participar en l'allunyament dels pols durant l'anafase.
- El conjunt de microtúbuls polars + els microtúbuls cinetocòrics formen el **fus mitòtic**.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

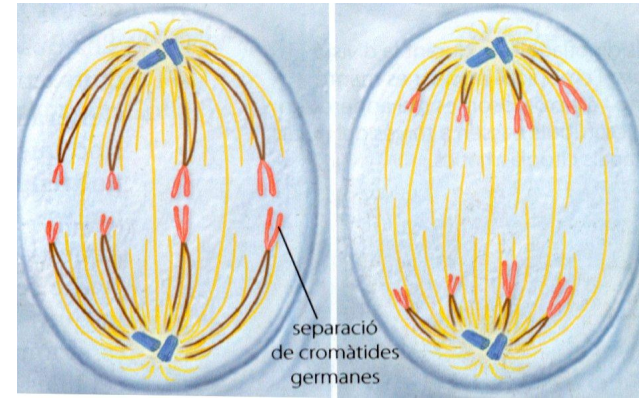
2.2 Divisió cel·lular - Mitosi

Mitosi o cariocinesi

És el moment en què **el material genètic es reparteix equitativament** entre les futures cèl·lules filles.

ANAFASE

- Es separen les dues cromàtides germanes (que formen el cromosoma metafàsic) per donar lloc als cromosomes anafàsics (una sola cromàtide), de manera que cada cromàtide germana es converteix en un cromosoma independent.
- Els **cromosomes anafàsics** es desplacen cap als pols gràcies als microtúbuls del fus mitòtic:
 - Els **microtúbuls cinetocòrics s'escurcen**, arrossegant els cromosomes cap als centrosomes/pols.
 - Els **microtúbuls polars s'allarguen**, empenyent els pols cap a extrems oposats, ajudant a allargar la cèl·lula.
- Al final de l'anafase, **cada pol** rebrà exactament un **conjunt complet de cromosomes**, amb la mateixa informació genètica que la cèl·lula mare



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

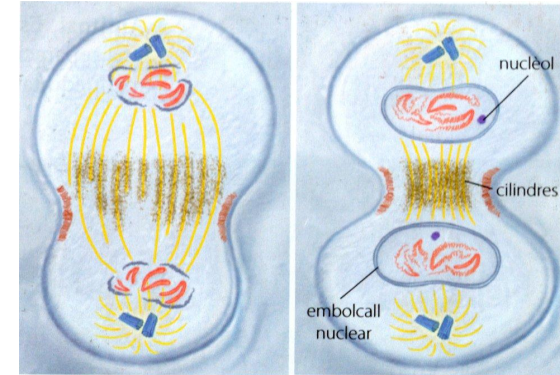
2.2 Divisió cel·lular - **Mitosi**

Mitosi o cariocinesi

TELOFASE

- Els **chromosomes anafàsics** (situats als pols) es comencen a **descondensar**. Desapareix el cinetocor.
 - Degut a que els cromosomes es descondensen, les **regions NOR** es fan accessibles per transcriure l'ARNr permetent la formació del **nuclèol**.
- **Es forma l'embolcall nuclear**, donant lloc així a dos típics nuclis interfàsics.
- Els **microtúbuls polars** es reorganitzen concentrant-se a la zona central, on tenen un **paper actiu durant la citocinesi**.

Amb la telofase s'acaba la divisió del nucli i es comença la divisió del citoplasma o **citocinesi**



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - Mitosi

Citocinesi

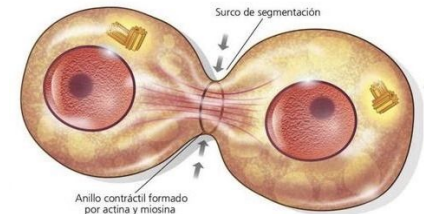
La citocinesi fa referència a la **divisió del citoplasma**. Aquest procés pot ser de diversos tipus segons els nombre i la forma de les cèl·lules filles.

- **Bipartició** o divisió primària
- **Gemmació**
- **Pluripartició** (divisió múltiple)

1. Bipartició

El citoplasma d'una cèl·lula mare **es divideix en dos citoplasmes fills iguals**, a cada un dels quals hi haurà un nucli (formats prèviament durant la mitosi). Aquest procés es pot dur a terme de tres maneres:

- **Estrangulació**
- **Septació**
- **Bipartició longitudinal**



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - **Mitosi**

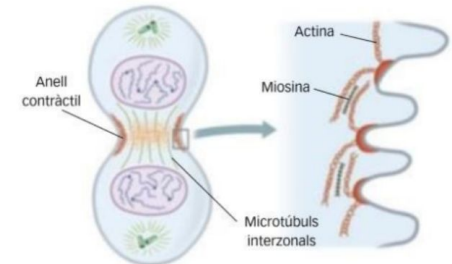
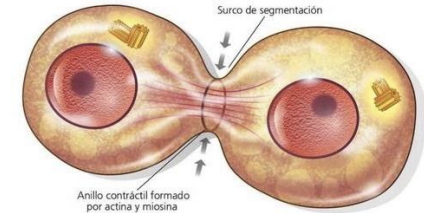
Citocinesi

Bipartició - Estrangulació

Tipus de citocinesi pròpia de les **cèl·lules animals**.

A la **zona equatorial de la cèl·lula** (a l'altura on queden disposats els microtúbuls polars al final de la telofase), es forma un **anell contràctil intern d'actina i miosina**, per sota de la membrana plasmàtica.

- Aquest anell es va **contraient progressivament i estrenyent la membrana** com si fos un cordó, donant lloc a un **solc de divisió** que es va aprofundint fins que es formen i es separen les dues cèl·lules filles.



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

2.2 Divisió cel·lular - **Mitosi**

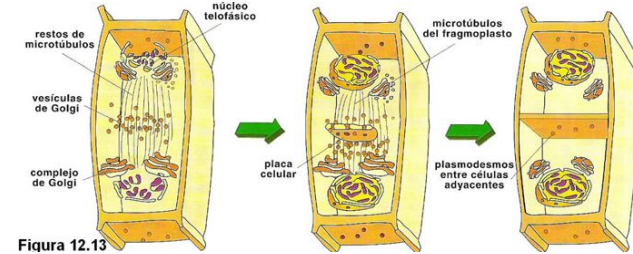
Citocinesi

Bipartició - Septació

Tipus de citocinesi pròpia de les **cèl·lules vegetals**.

Es crea un septe a partir de la unió de vesícules carregades de **pectina**, provinents de l'aparell de Golgi.

- Es forma la **làmina mitja**.

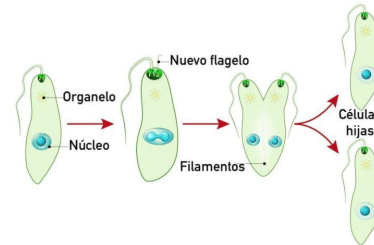


A tenir en compte!!

La divisió no es completa entre les dues cèl·lules filles, ja que es mantenen alguns porus de comunicació → **plasmodemes**

Bipartició longitudinal - Fissuració

Pròpia de certs **protozous eucariotes allargats**, com els flagel·lats (*Trypanosoma*).



2. Cicle cel·lular de les cèl·lules eucariotes

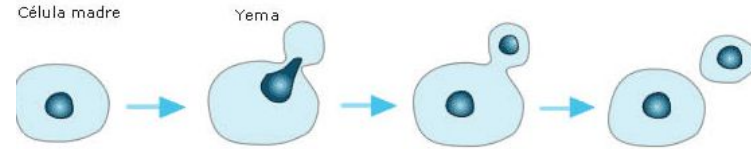
2.2 Divisió cel·lular - **Mitosi**

Citocinesi

2. Gemmació

El citoplasma de la cèl·lula mare es divideix, quan encara és uninucleada, en dues parts desiguals.

- La més petita (**gemma**) no té nucli i queda comunicada amb la gran.
- El nucli experimenta una **endomitosi** (duplicació de l'ADN sense repartiment posterior entre les dues cèl·lules filles), s'allarga i la seva projecció s'introdueix dins la gemma, produint-se en aquest moment la divisió del nucli i del citoplasma per finalment donar lloc a les dues cèl·lules filles per estrangulació.



3. Pluripartició

El citoplasma de la cèl·lula mare, prèviament convertida en plurinucleada, dóna lloc a tantes cèl·lules filles com nuclis conté.

