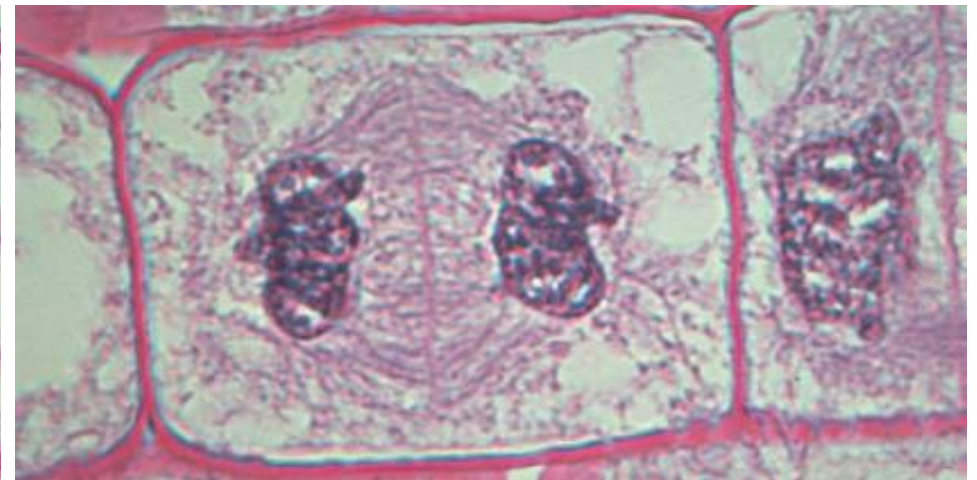
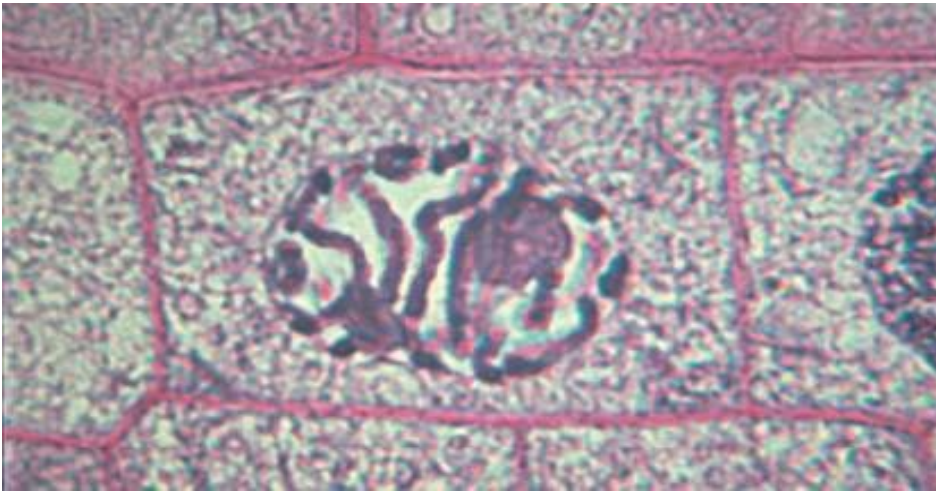


La reproducció de la cèl·lula eucariota



La reproducció de la cèl·lula eucariota

- La divisió cel·lular. Tipus.
- El cicle cel·lular. La interfase.
- El cicle cel·lular. La divisió cel·lular o fase M
- Formes de reproducció cel·lular.
- **La meiosi**
- Els cicles biològics.

La divisió generadora de cèl·lules amb la meitat de cromosomes.

Introducció: la reproducció

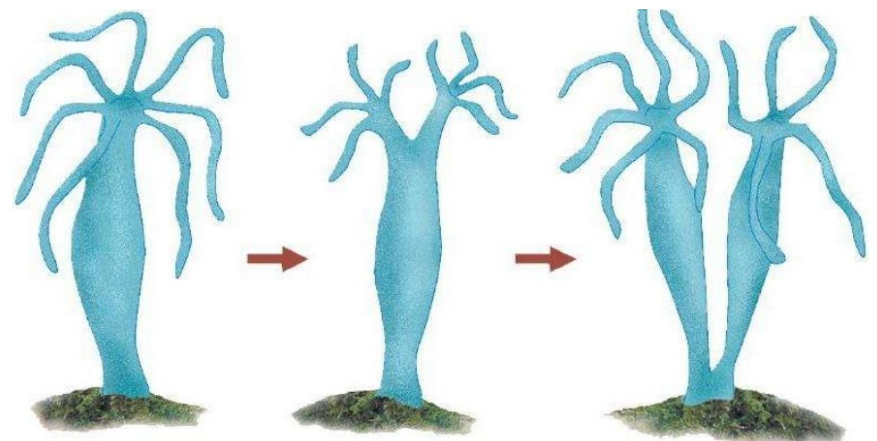
S'entén per reproducció la generació de nous individus.

Hi ha dos tipus de reproducció:

- Reproducció ASEXUAL
- Reproducció SEXUAL

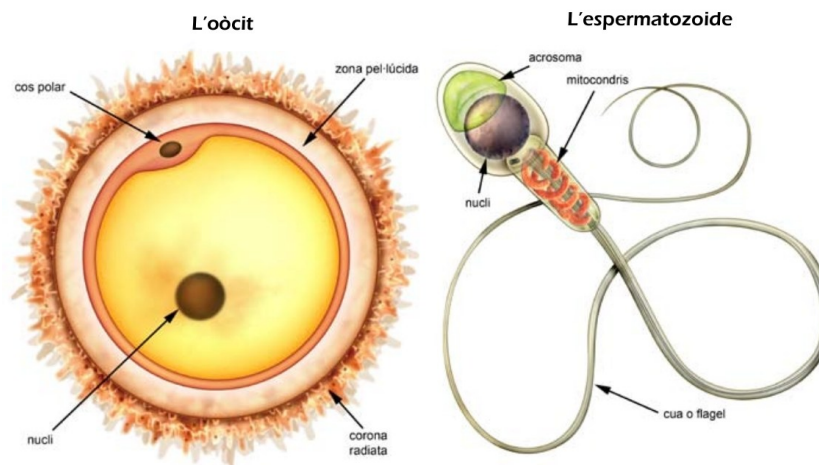
La reproducció ASEXUAL: característiques

- No intervenen cèl·lules especialitzades.
- Un únic progenitor.
- Descendents genèticament idèntics al seu progenitor (tret de mutacions).
- Cèl·lules del nou individu s'originen per mitosi a partir progenitor.



La reproducció SEXUAL: característiques

- Intervenen cèl·lules reproductores sexuals (gàmetes i meiòspores).
- Generalment dos progenitors, de vegades només un de sol.
- Descendents genèticament diferents dels seus progenitors.
- Les cèl·lules reproductores, haploides, s'originen per mitjà del procés de la meiosi.



La meiosi

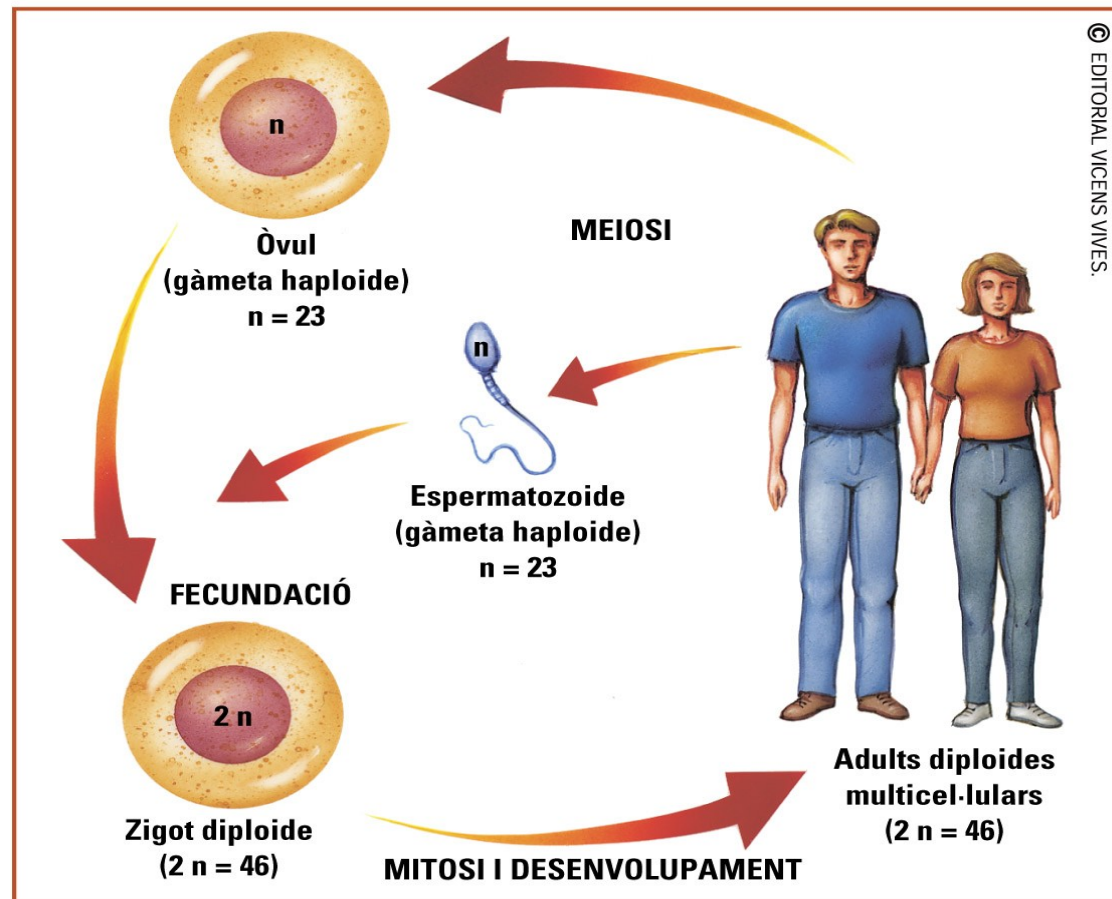
Procés generador de cèl·lules amb la meitat de cromosomes que la cèl·lula mare, diferents entre elles i diferents a la cèl·lula mare.

En un organisme diploide:
1 cèl·lula $2n$ ► 4 cèl·lules n

Finalitats:

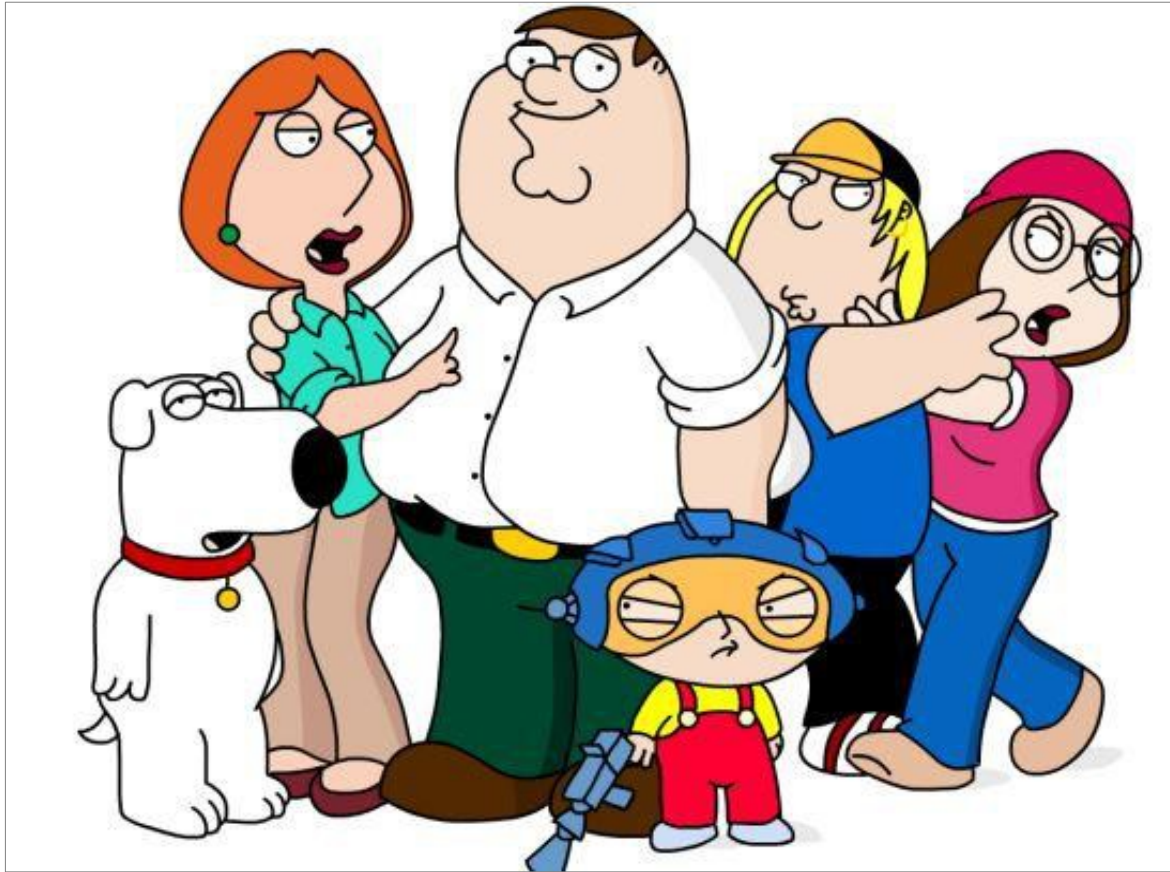
- Mantenir constant el nombre de cromosomes en una espècie.
- Generar variabilitat en la descendència.

La meiosi manté constant el nombre de cromosomes generació rere generació



La meiosi es produeix a les cèl·lules mare dels gametes. Si no es produís la meiosi, els gàmetes tindrien el mateix nombre de cromosomes que les cèl·lules somàtiques, i, després de cada fecundació, la cèl·lula resultant (zigot) tindria el doble de cromosomes. La repetició, generació rere generació, d'aquesta duplicació augmentaria indefinidament el nombre de cromosomes.

La meiosi permet la variabilitat entre els individus

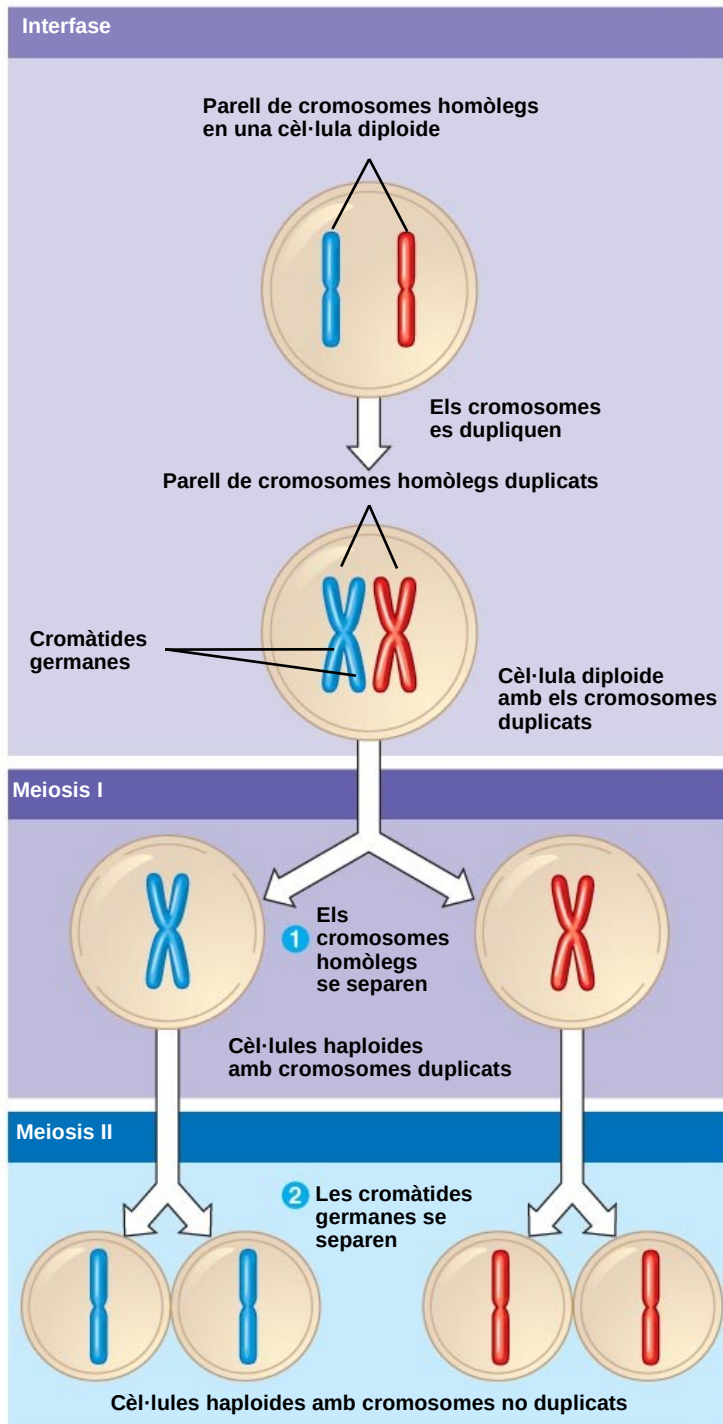


La recombinació genètica que té lloc durant la meiosi genera variabilitat en la descendència

Procés de la meiosi

La meiosi comprèn dues divisions cel·lulars successives:

- 1a divisió meiòtica o divisió reduccional.
 - 2a divisió meiòtica o divisió equacional
-
- Abans de la 1a divisió meiòtica hi ha duplicació de l'ADN en la interfase.
 - Té lloc en les cèl·lules mare dels gàmetes i de les meiòspores.



MEIOSI

1 cèl·lula $2n$ ► 4 cèl·lules n

Interfase

Abans d'iniciar-se la meiosi, hi ha una interfase en la que entre altres successos es produeix la duplicació de l'ADN

1^a divisió meiòtica

Es produeix la separació dels cromosomes homòlegs.
Les cèl·lules resultants tenen la meitat de cromosomes que la cèl·lula mare.

2^a divisió meiòtica

Es produeix la separació de les cromàtides germanes.
Les cèl·lules resultants tenen el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare.

1a divisió meiòtica

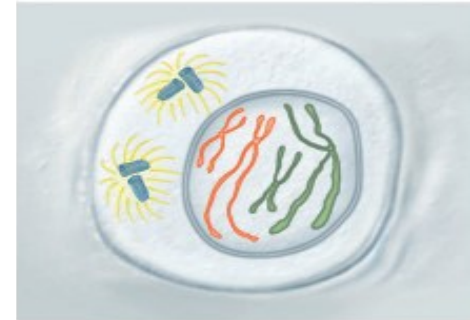
Es produeix la separació dels cromosomes homòlegs.

Les cèl·lules resultants tenen la meitat de cromosomes que la cèl·lula mare (**divisió reduccional**).

Fases:

- Profase I
- Metafase I
- Anafase I
- Telofase I
- Citocinesi I

Profase I



Metafase I



Anafase I



Telofase I



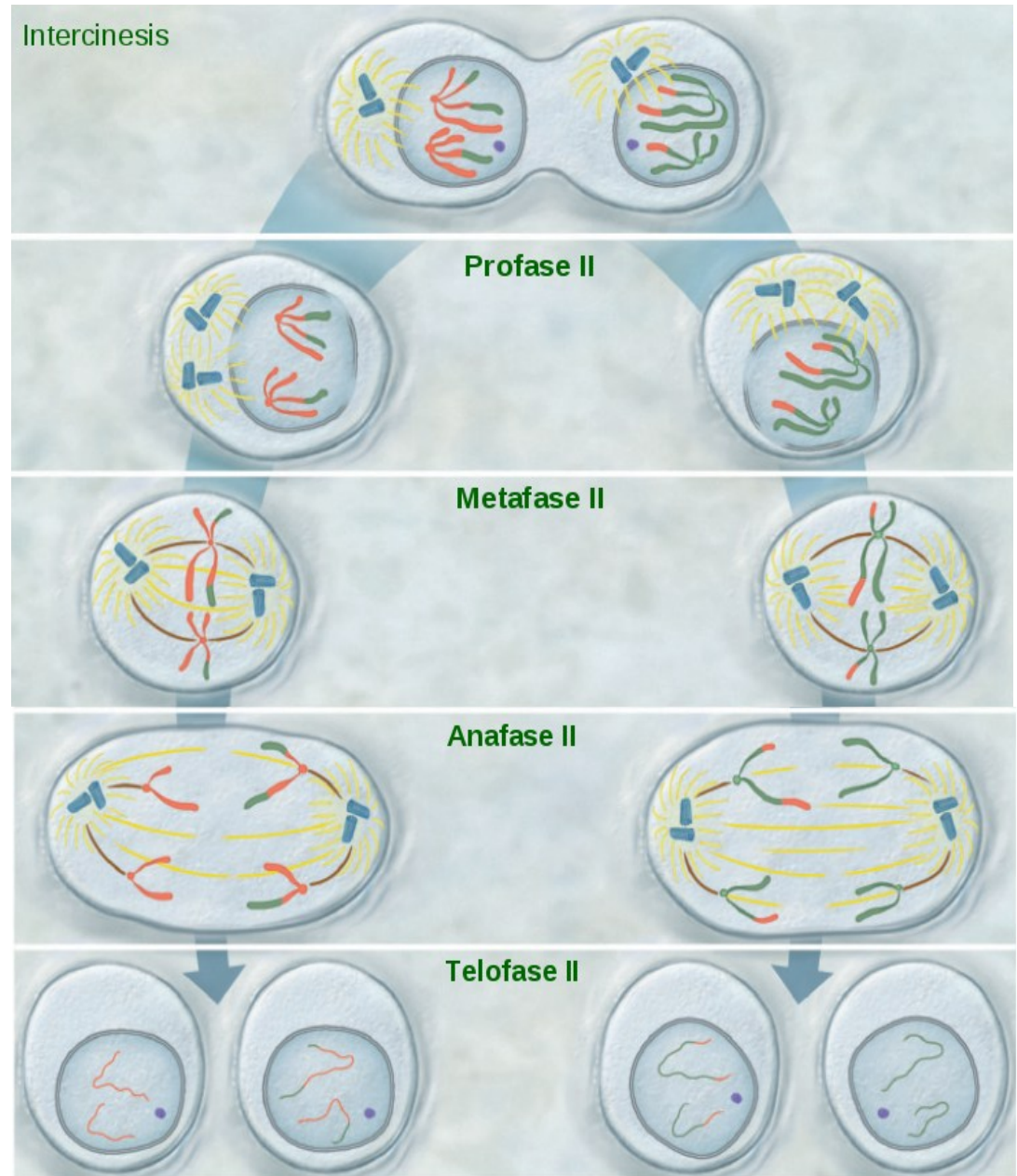
2a divisió meiòtica

Es produeix la separació de les cromàtides germanes.

Les cèl·lules resultants tenen el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare (**divisió equacional**).

Fases:

- Intercinesi
- Profase II
- Metafase II
- Anafase II
- Telofase II
- Citocinesi II

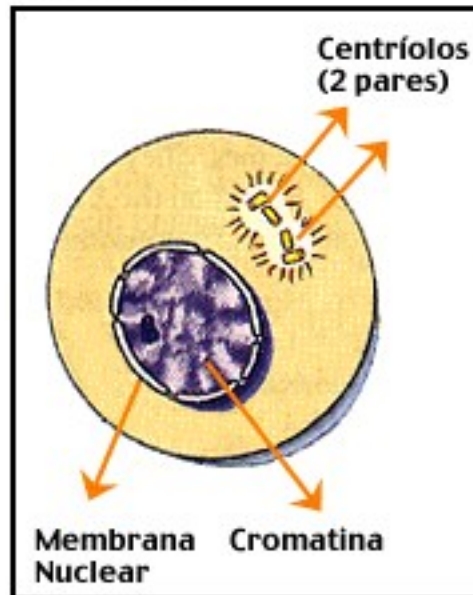


Meiosi: panoràmica general

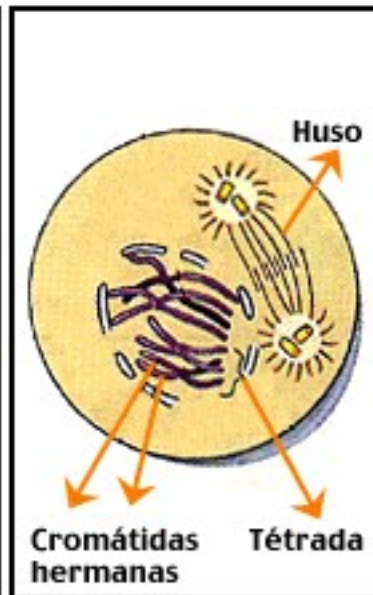
MEIOSIS

Meiosis I

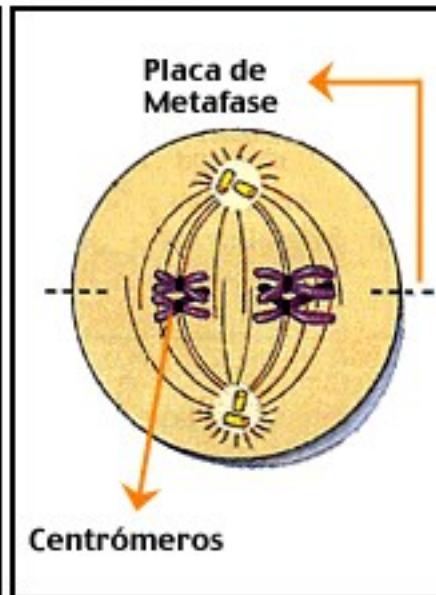
Interfase



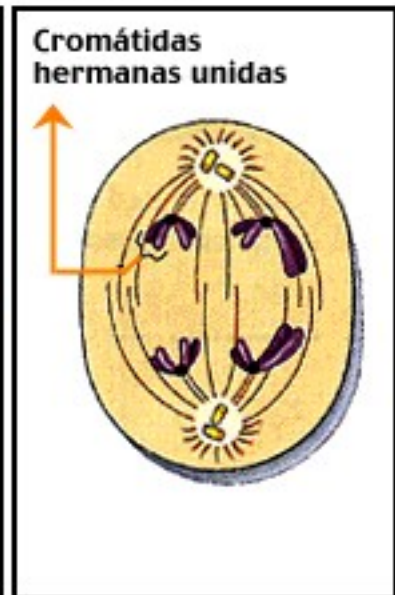
Profase I



Metafase I



Anafase I



Meiosis II

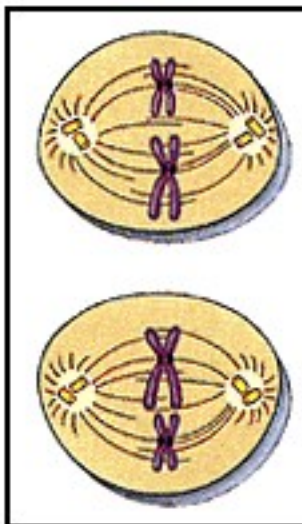
Telofase I



Profase II



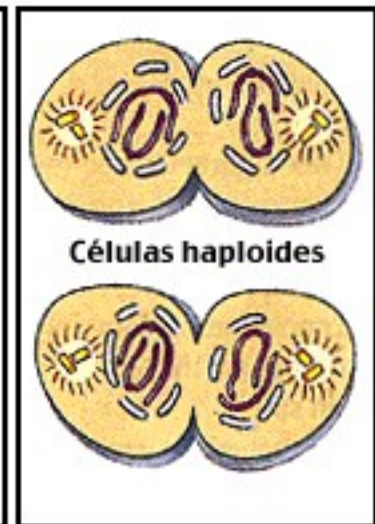
Metafase II



Anafase II

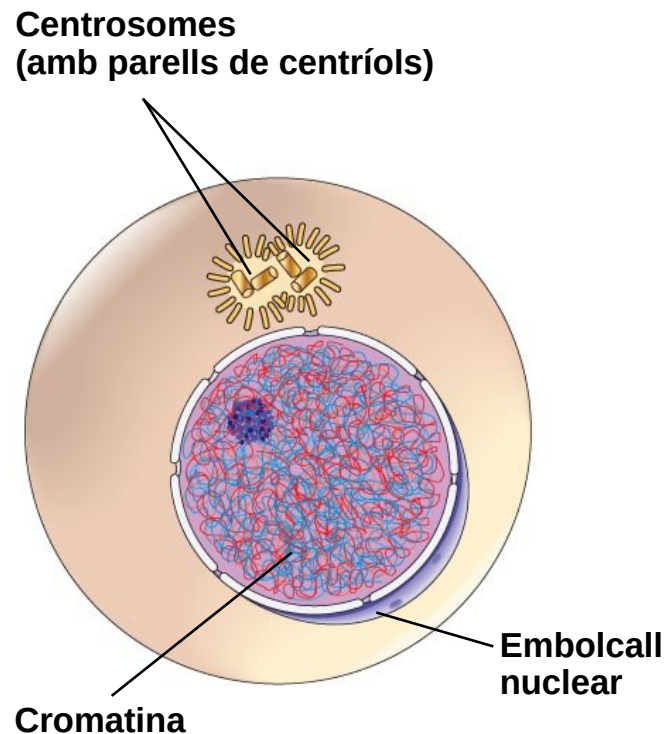


Telofase II



INTERFASE

La meiosi ve precedida (igual que passa amb la mitosi) d'una **interfase** que inclou les fases G1, S i G2. En la interfase la cèl·lula creix, **duplica el seu ADN** i es prepara per a la divisió. Les fibres de cromatina duplicades queden unides pel centròmer i al final de la mateixa començaran a condensar-se. Els centrosomes es dupliquen.



Meiosi I

Separació cromosomes homòlegs

Fases de la Meiosis I

Profase I

Metafase I

Anafase I

Telofase I

Citocinesi

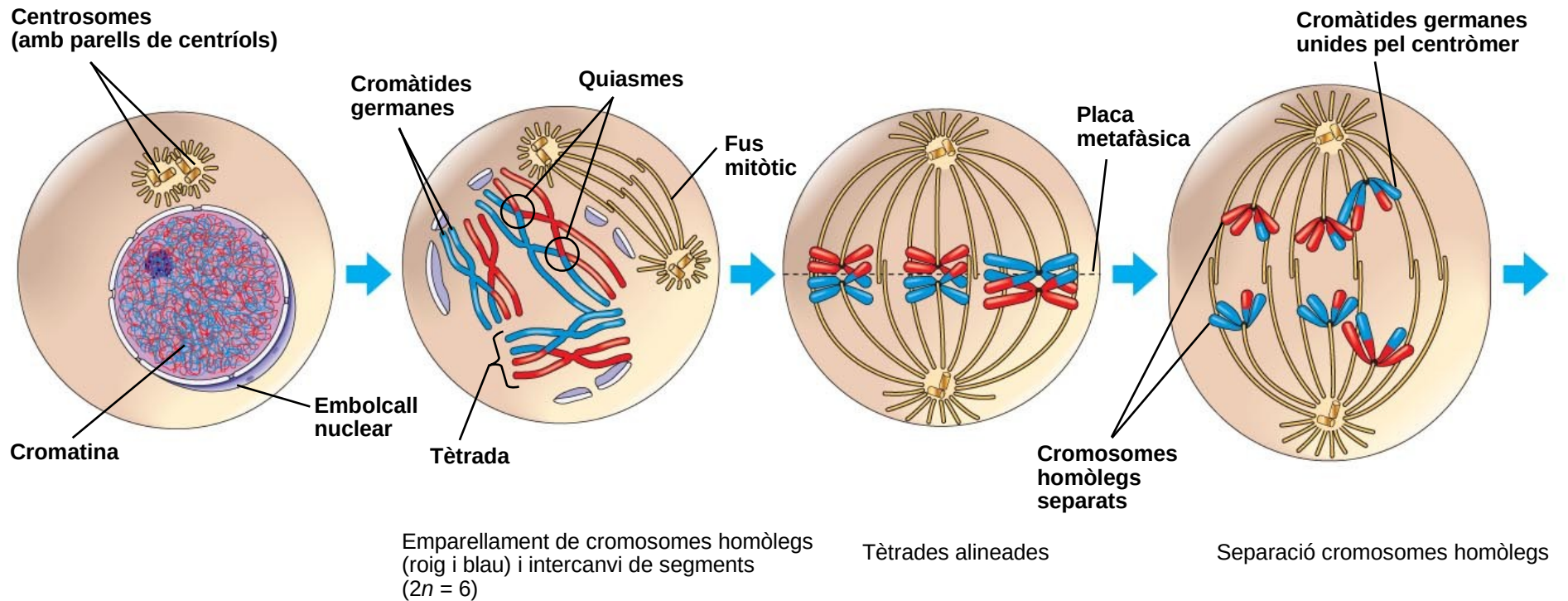
INTERFASE

MEIOSIS I: Separació dels cromosomes homòlegs

PROFASE I

METAFASE I

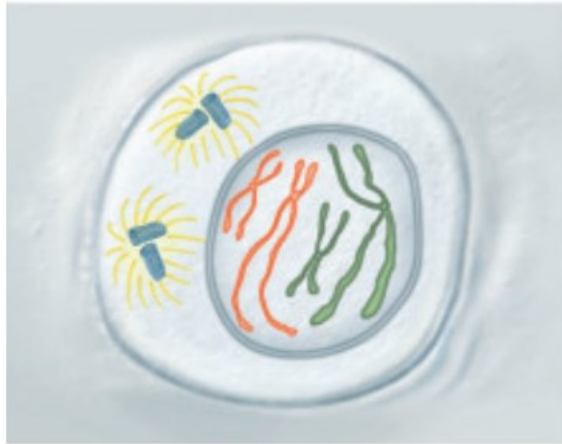
ANAFASE I



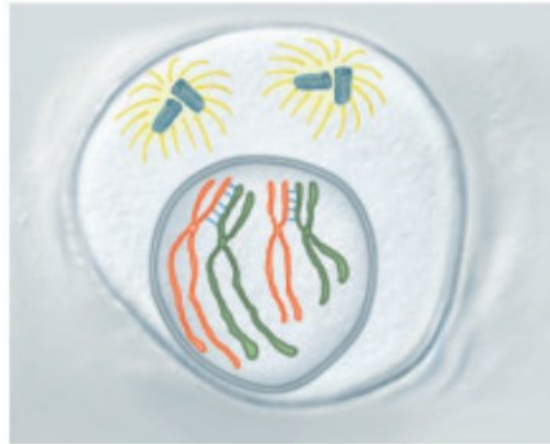
Profase I

La profase I és una fase llarga dividida en 5 etapes. Ocupa el 90% de tota la meiosi i pot arribar a durar fins i tot mesos o anys, segons l'espècie.

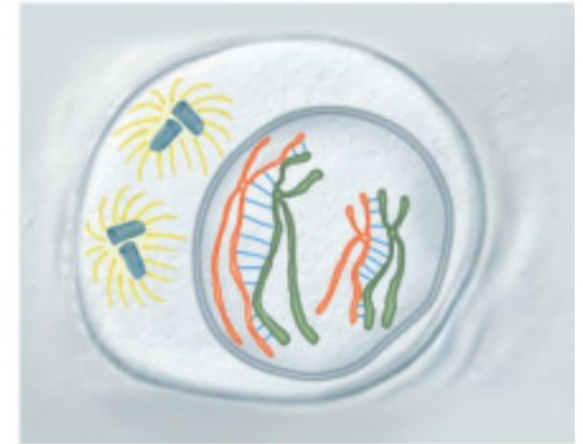
Profase I



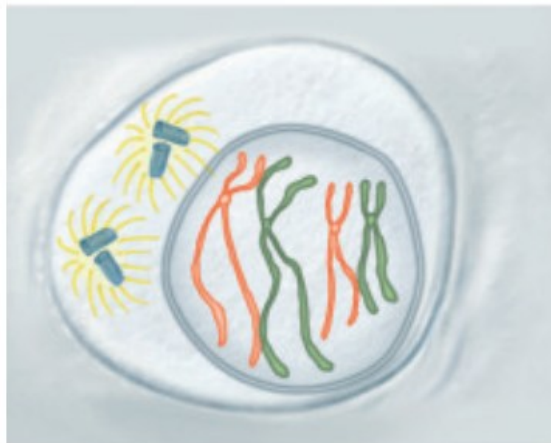
Leptoteno



Zigoteno



Paquiteno



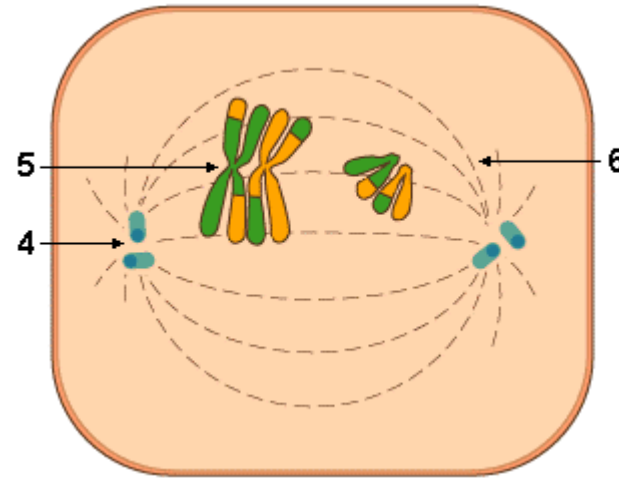
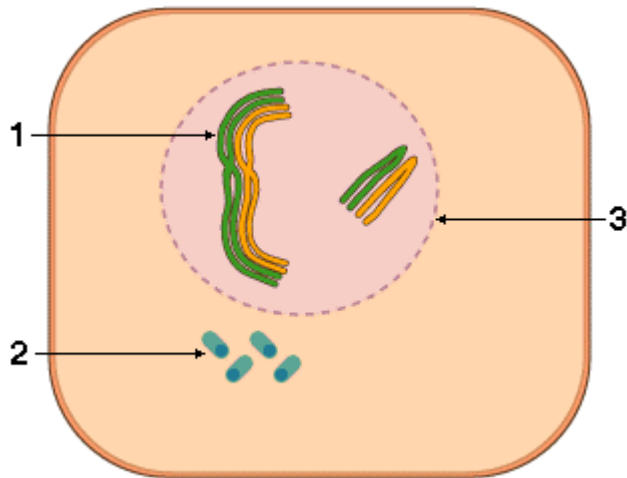
Diploteno



Diacinesis

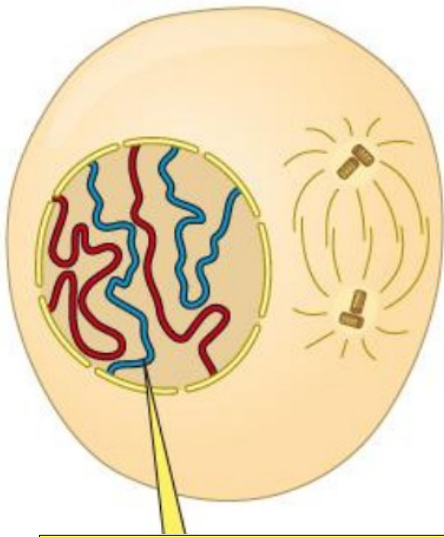
Què passa durant la Profase I?

- El DNA es condensa i es formen els cromosomes.
- Desapareix el nuclèol.
- Els cromosomes homòlegs s'uneixen al llarg de tota la seva longitud (**sinapsi**), es produeix l'**entrecreuament** de les cromàtides homòlogues i la **recombinació genètica** ⁽¹⁾
- Es trenca l'embolcall nuclear ⁽³⁾
- Els centrosomes amb els centríols ⁽²⁾ migren als pols de la cèl·lula ⁽⁴⁾
- Es forma el fus acromàtic ⁽⁶⁾
- Els cromosomes homòlegs aparellats (**bivalents**) queden units a les fibres del fus ⁽⁵⁾



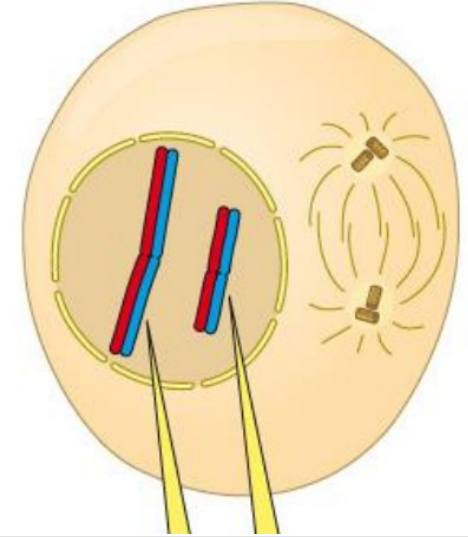
Etapes de la Profase I

Leptotè



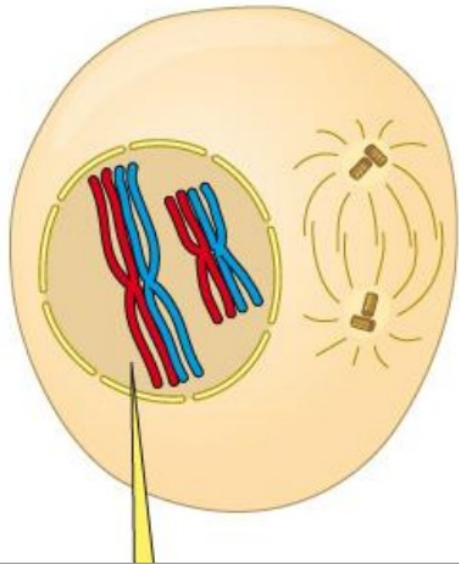
Leptotè (inici de la profase): els filaments de DNA, ja duplicats, es condensen i formen els cromosomes (les cromàtides però no seran visibles fins al final de la profase). Els cromosomes homòlegs queden aparellats.

Zigotè



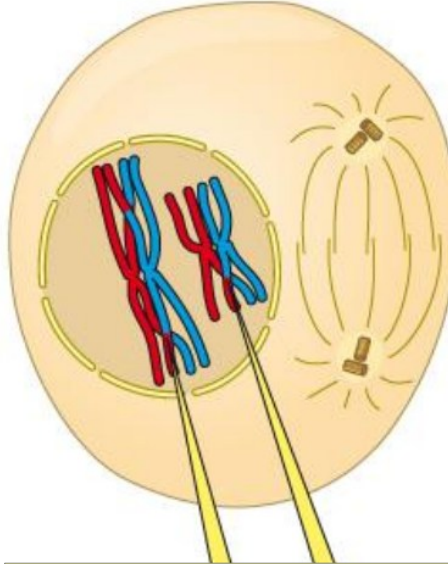
Zigotè: unió íntima de cada cromosoma amb el seu homòleg al llarg de tota la seva longitud, sinapsi, gràcies a la formació d'una estructura proteica (complex sinaptonèmic) que els manté units. La sinapsi comença en un extrem i acaba en l'altre a mode de cremallera, gen a gen. Els dos cromosomes homòlegs units al llarg de tota la seva longitud constitueixen un bivalent o tètrada.

Paquitè



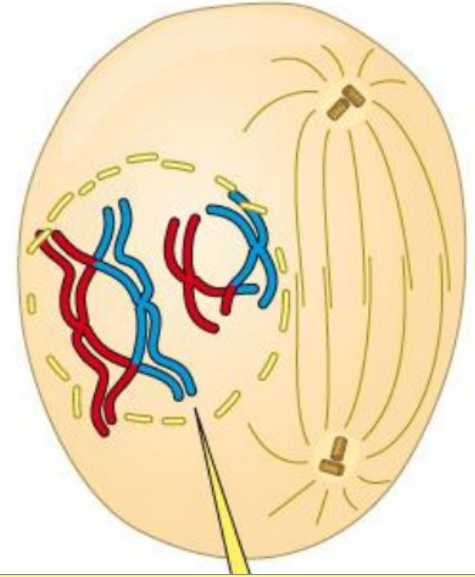
Paquitè: En aquesta fase es produeix l'entrecreuament (crossing over), és a dir, la ruptura per un o més punts de dues cromàtides homòlogues i la seva posterior unió alternada amb el consegüent intercanvi de fragments de DNA o recombinació genètica.

Diplo tè



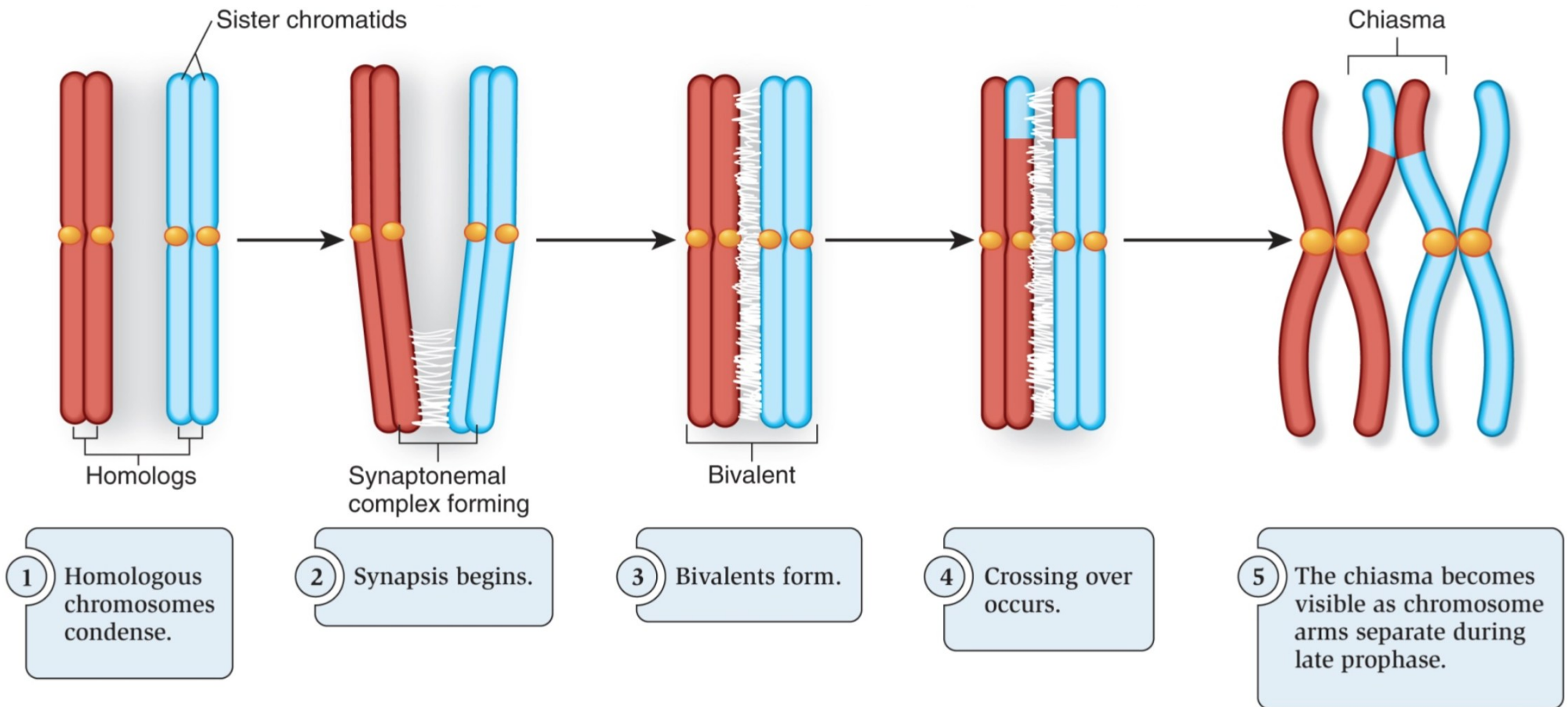
Diplo tè: es produeix la dessinapsi i es fan evidents al microscopi els punts d'entrecreuament o quiasmes.

Diacinesi

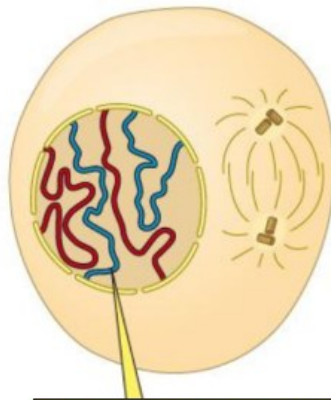


Diacinesi: *augmenta la condensació dels cromosomes*. S'observen clarament les cromàtides germanes unides pel centròmer i les cromàtides homòlogues que s'han entrecruat unides pels quiasmes.

Tot i que no es veu a la imatge de dalt, durant la profase els cromosomes, igual que passa a la mitosi, són capturats per les fibres del fus i comencen a moure's cap a l'equador de la cèl·lula. Hi ha una diferència però en relació a la mitosi, cada cromosoma s'uneix només als microtúbuls d'un dels pols del fus, i els dos homòlegs d'un parell s'uneixen als microtúbuls de pols oposats.

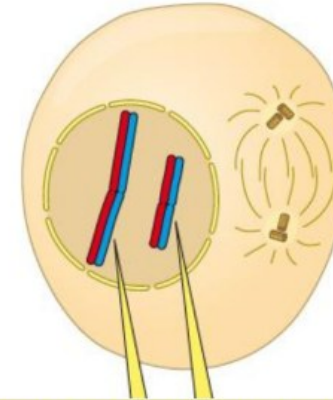
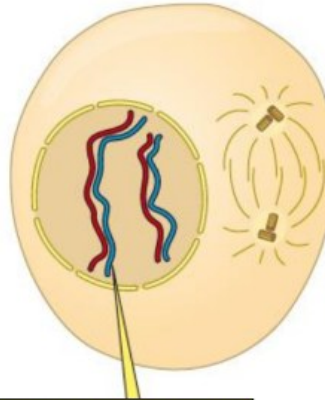


Leptotè



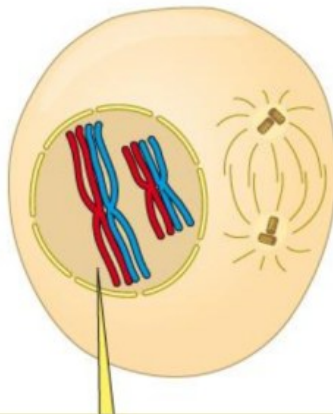
Leptotè (inici de la profase): els filaments de DNA, ja duplicats, es condensen i formen els cromosomes (les cromàtides però no seran visibles fins al final de la profase). Els cromosomes homòlegs queden aparellats.

Zigotè



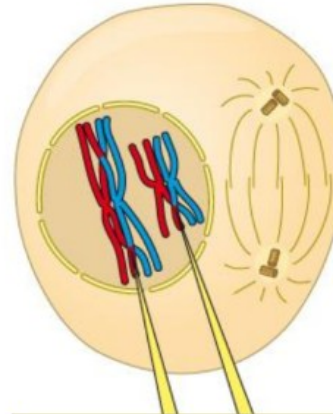
Zigotè: unió íntima de cada cromosoma amb el seu homòleg al llarg de tota la seva longitud, sinapsi, gràcies a la formació d'una estructura proteica (complex sinaptonèmic) que els manté units. La sinapsi comença en un extrem i acaba en l'altre a mode de cremallera, gen a gen. Els dos cromosomes homòlegs units al llarg de tota la seva longitud constitueixen un bivalent o tètrada.

Paquitè



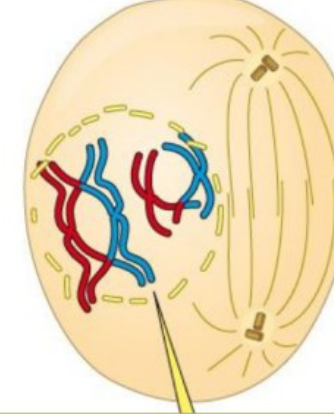
Paquitè: En aquesta fase es produeix l'entrecreuament (crossing over), és a dir, la ruptura per un o més punts de dues cromàtides homòlogues i la seva posterior unió alternada amb el consegüent intercanvi de fragments de DNA o recombinació genètica.

Diplotè

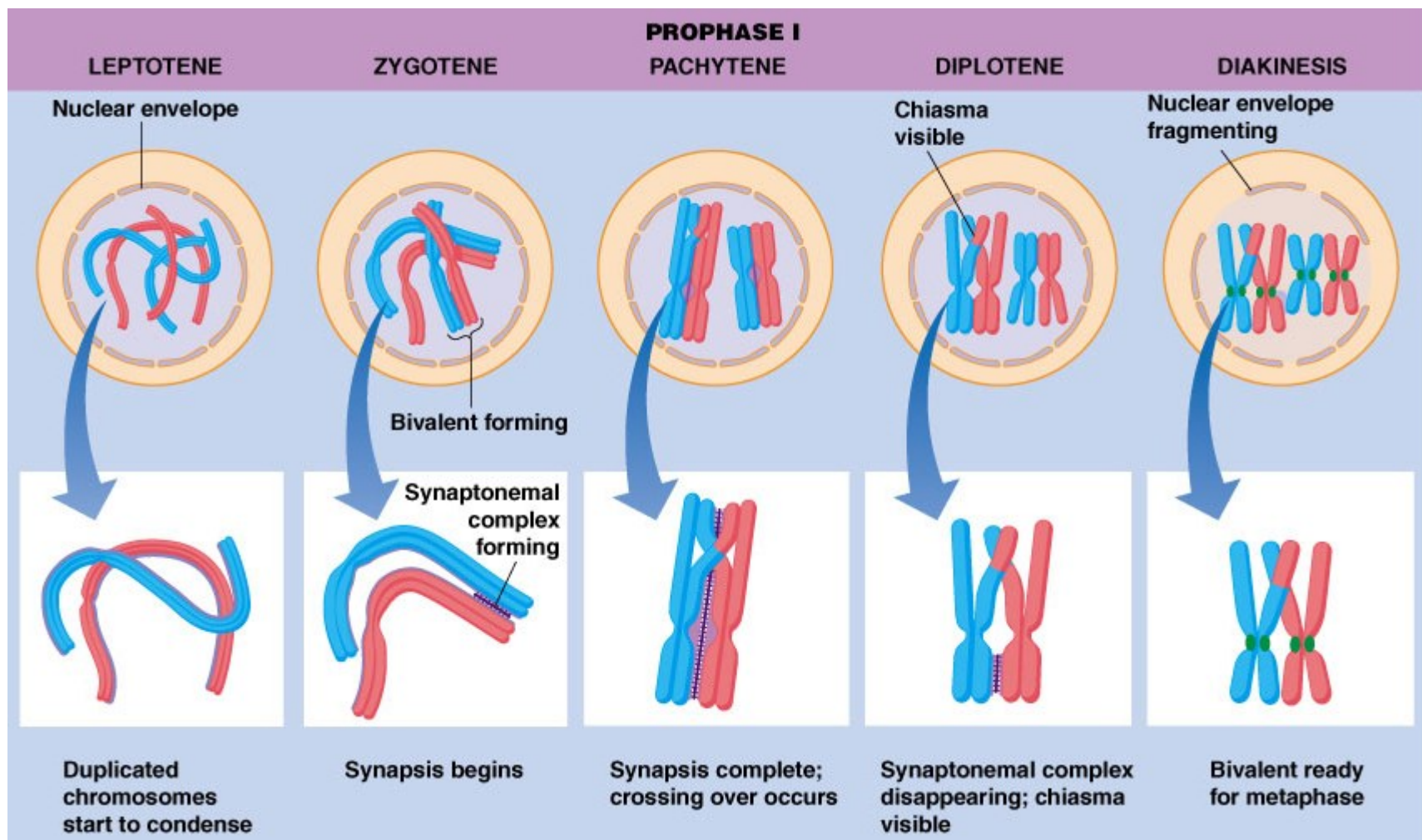


Diplotè: es produeix la dessinapsi i es fan evidents al microscopi els punts d'entrecreuament o quiasmes.

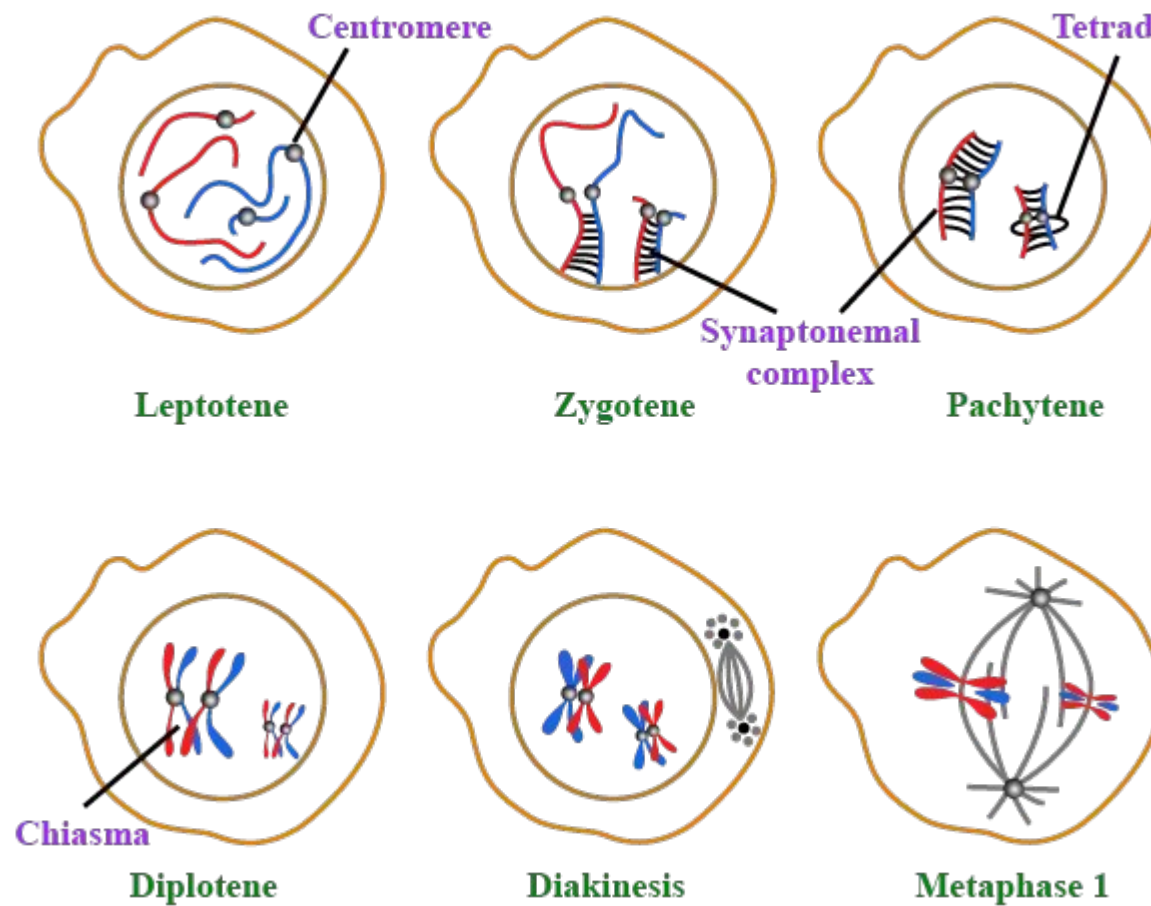
Diacinesi



Diacinesi: augmenta la condensació dels cromosomes. S'observen clarament les cromàtides germanes unides pel centròmer i les cromàtides homòlogues que s'han entrecreuat unides pels quiasmes.

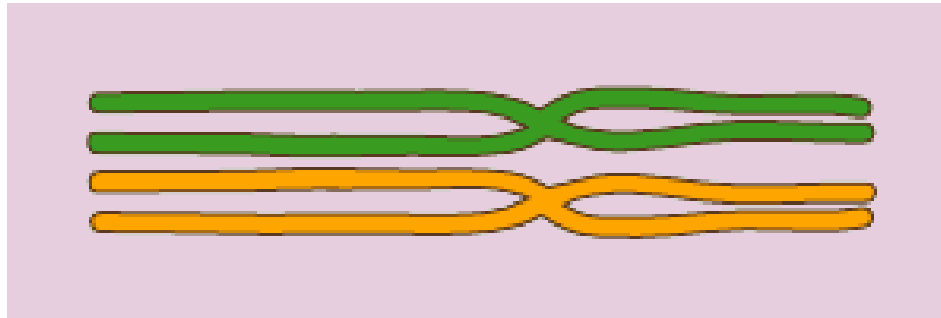


STAGES OF PROPHASE OF MEIOSI I



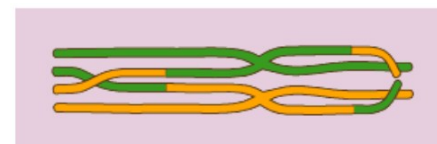
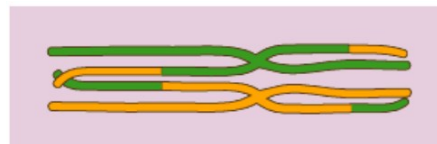
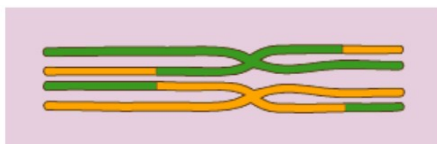
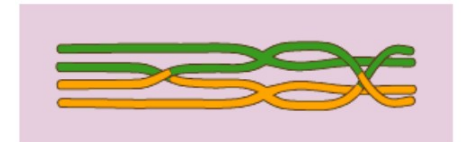
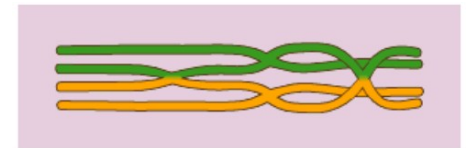
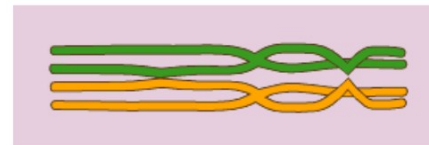
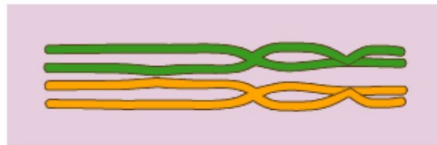
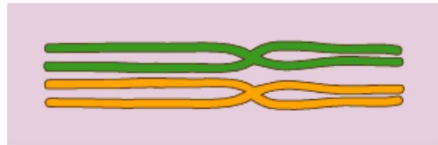
STAGES OF PROPHASE OF MEIOSI I

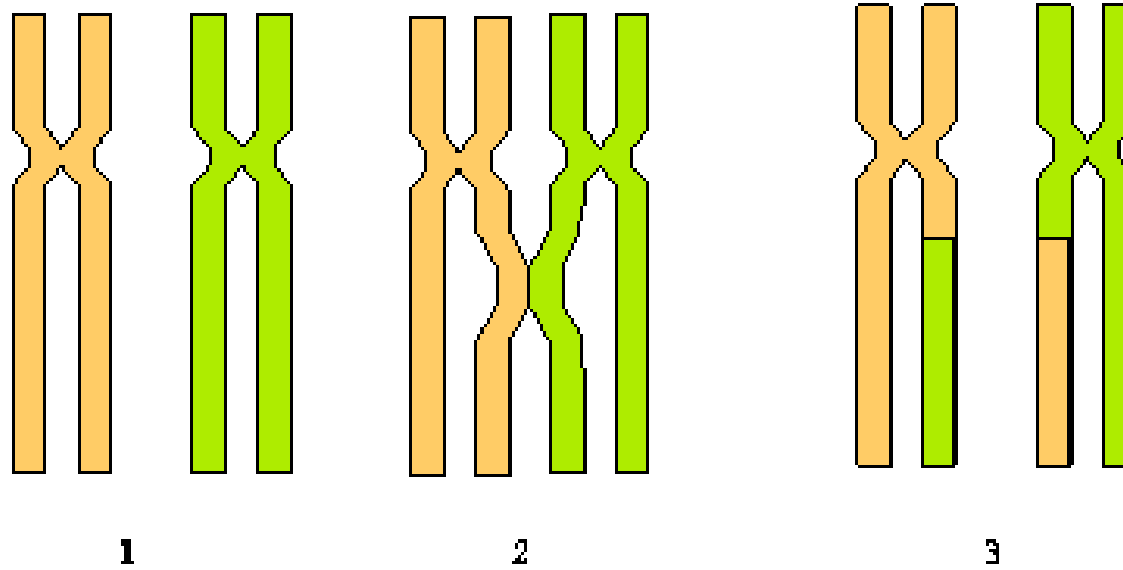
Entrecreuament i recombinació genètica



Es produeix en la fase de PAQUITÈ de la profase meiòtica I.

Les cromàtides dels cromosomes homòlegs intercanvien fragments de DNA entre elles.





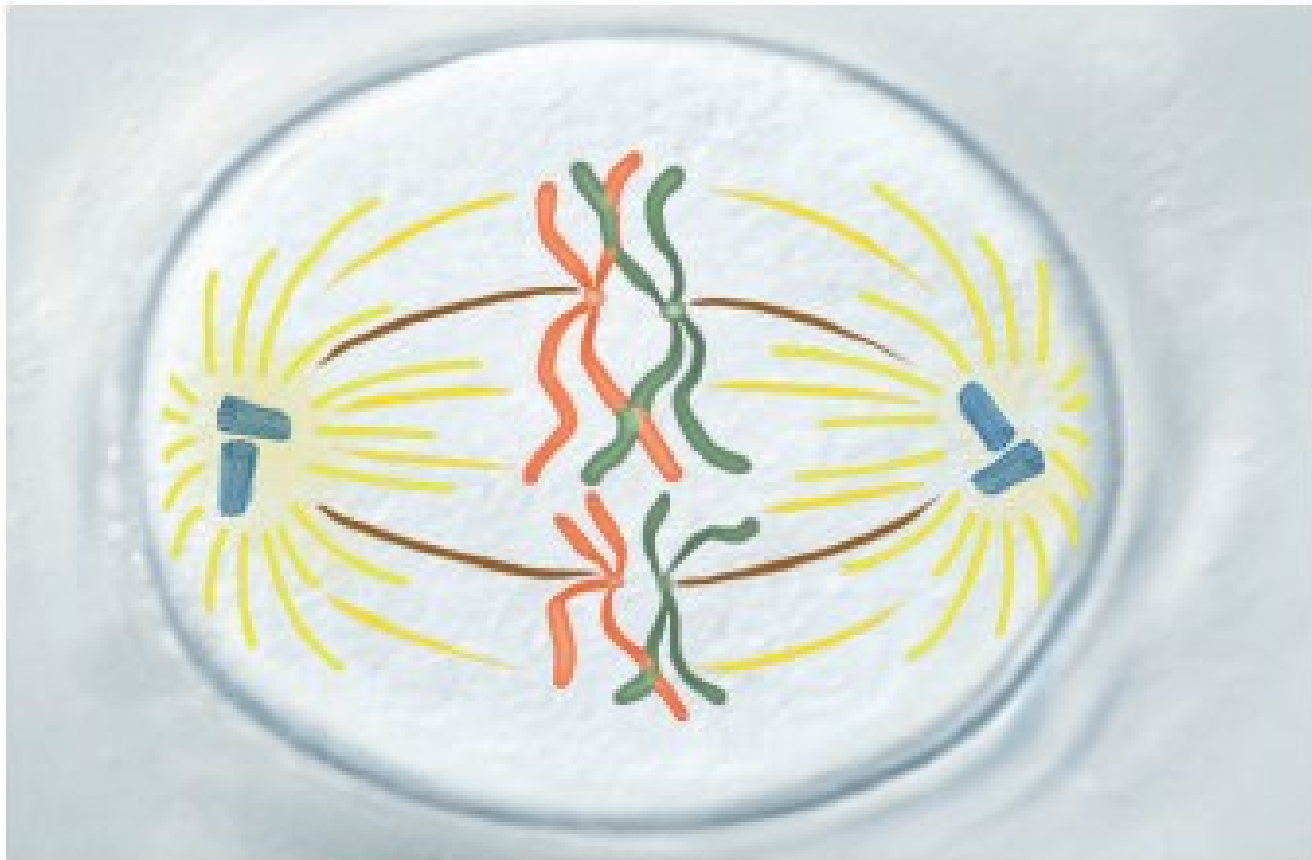
1. Parella de cromosomes homòlegs.
2. Entrecreuament entre cromàtides homòlogues.
3. Recombinació genètica (resultat de l'entrecreuament)

Què passa durant la **Metafase I**

- Els cromosomes homòlegs units (bivalents) se situen al pla equatorial de la cèl·lula amb un cromosoma de cada parell disposat cap a cada pol.

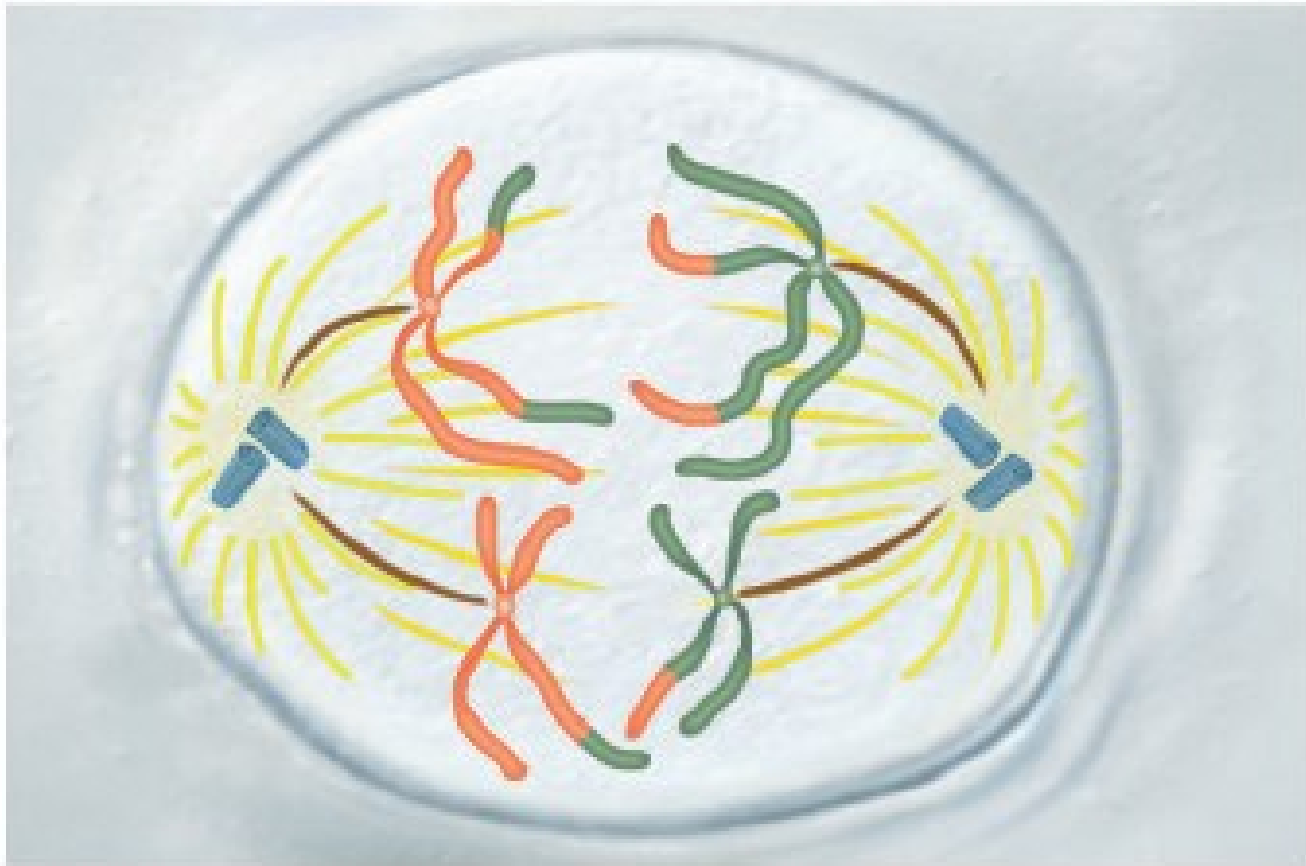
Les dues cromàtides d'un cromosoma es troben adherides als microtúbuls d'un dels pols i les dos de l'altre homòleg als microtúbuls de l'altre pol.

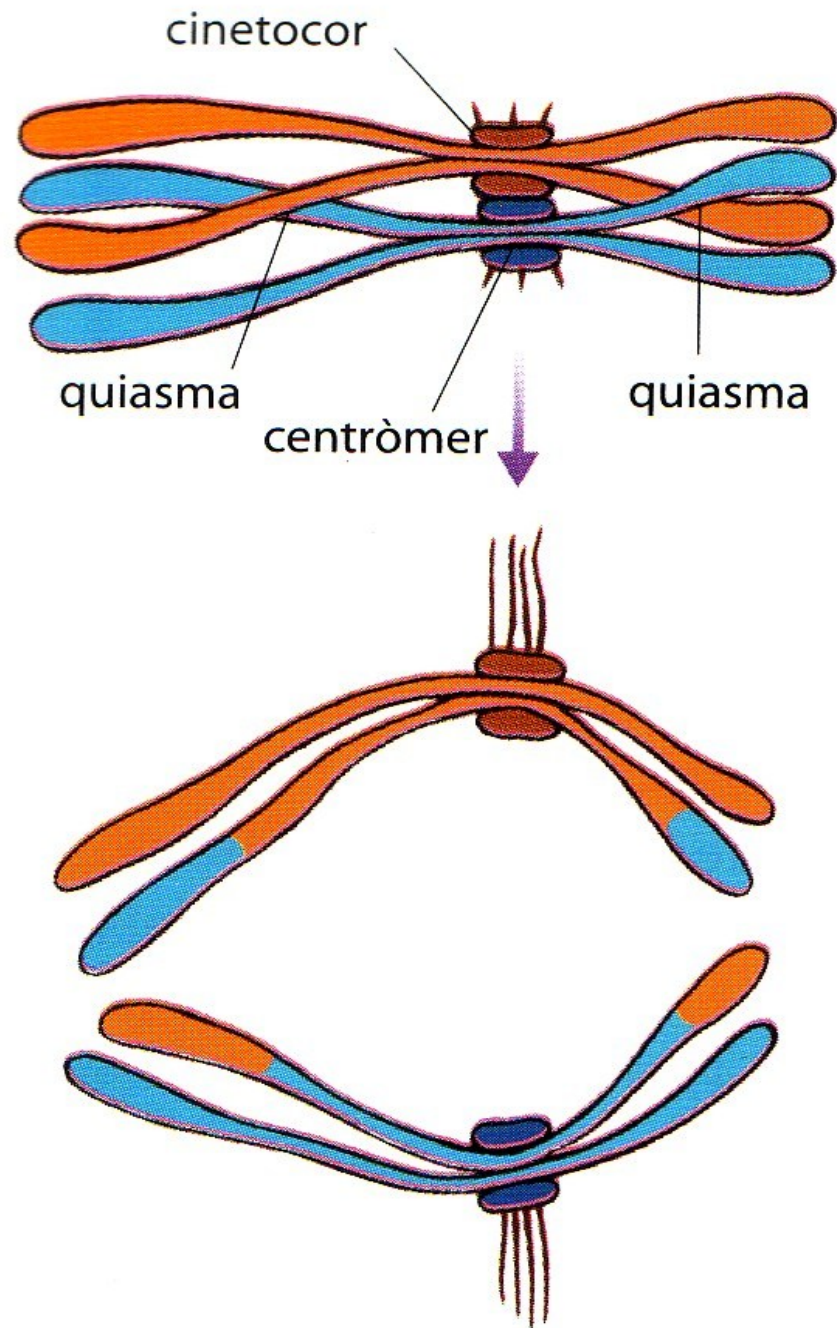
Quan els parells d'homòlegs s'alineen a la placa metafàsica, l'orientació és a l'atzar.



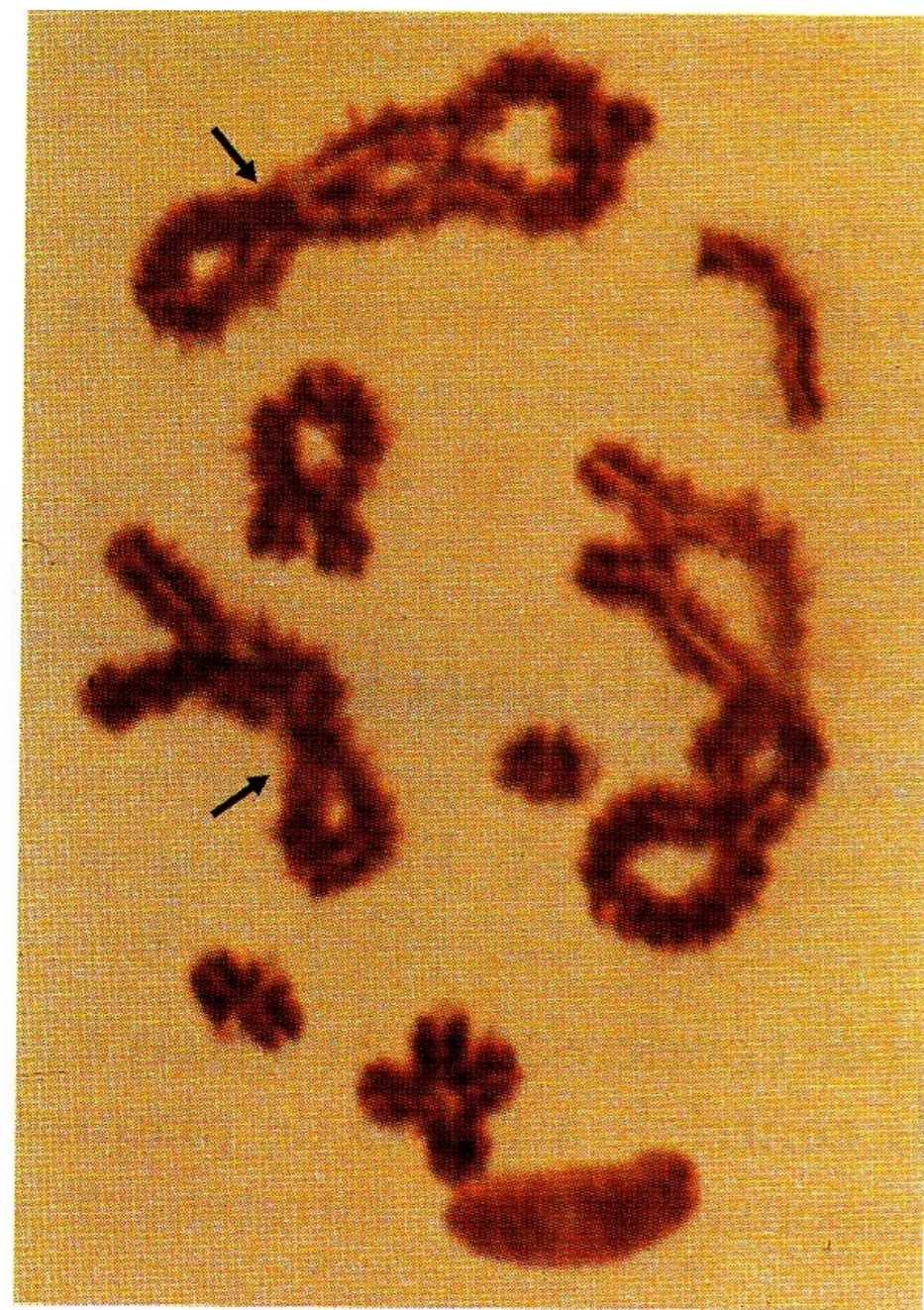
Què passa durant la **Anafase I**?

- Els cromosomes homòlegs que formen els bivalents se separen i migren, cadascun constituït per dues cromàtides, cap als pols oposats.





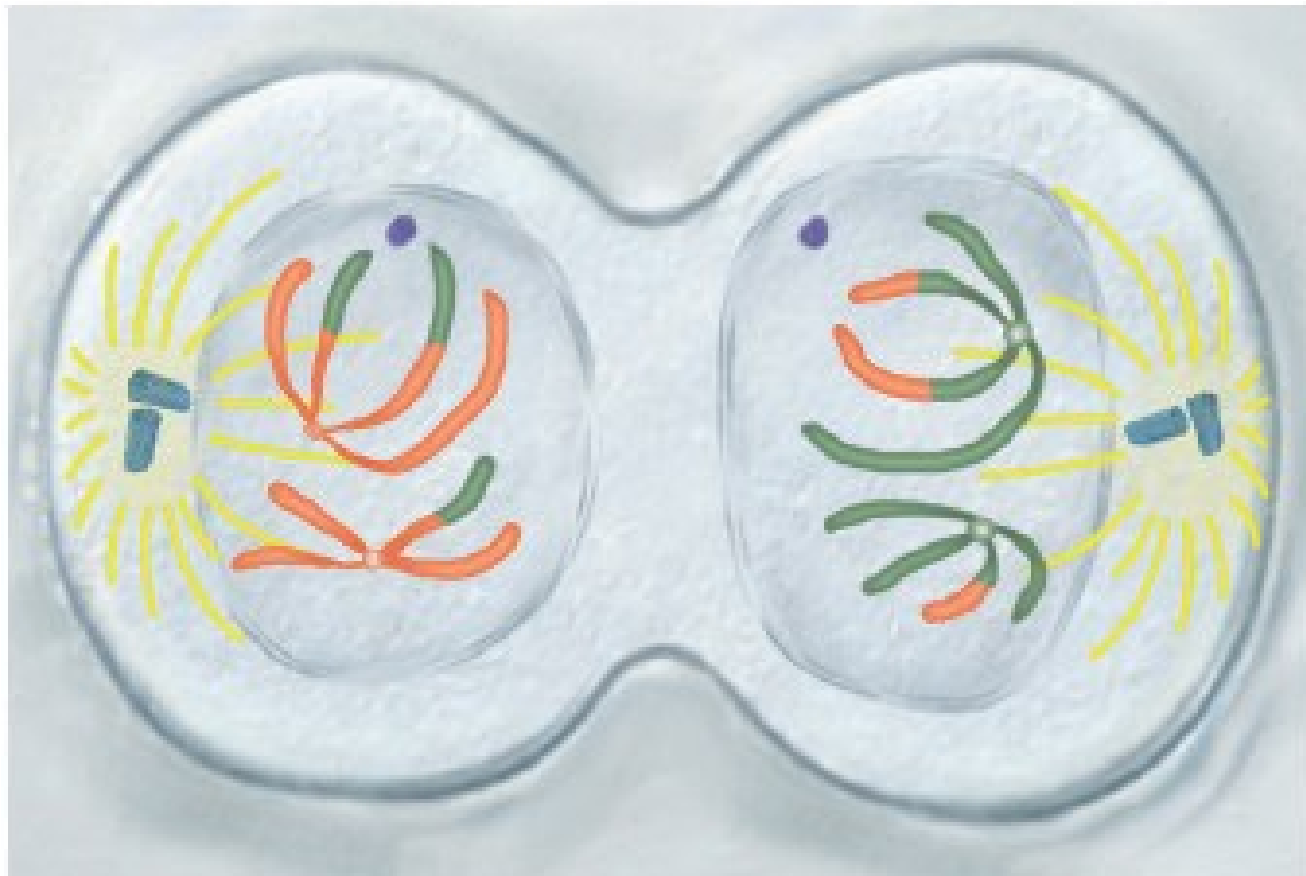
Meiosi I: detall dels entrecreuaments, quiasmes i de la recombinació.



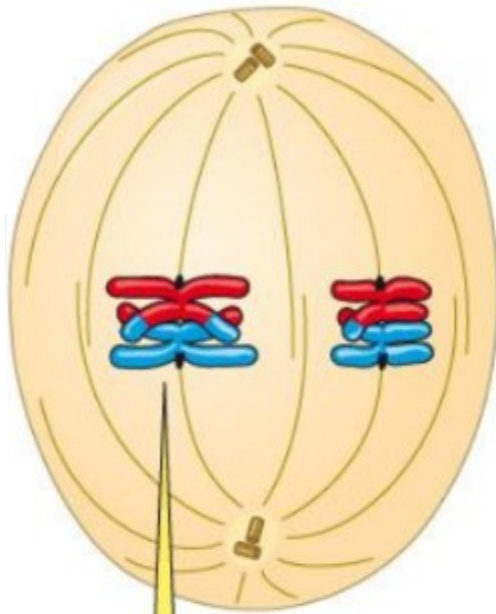
Quiasmes (indicats amb fletxes) en bivalents meiòtics. Cromosomes de llagostí en diploté.

Què passa durant la Telofase I?

- Al principi de la telofase I, cada meitat de la cèl·lula té un joc complet de cromosomes, però cada cromosoma està format encara per dues cromàtides.
- Formació d'un embolcall nuclear, que dura molt poc.
- Petita descondensació dels cromosomes.
- De forma simultània te lloc la **citocinesi** que acabarà donant lloc a dues cèl·lules filles haploides.

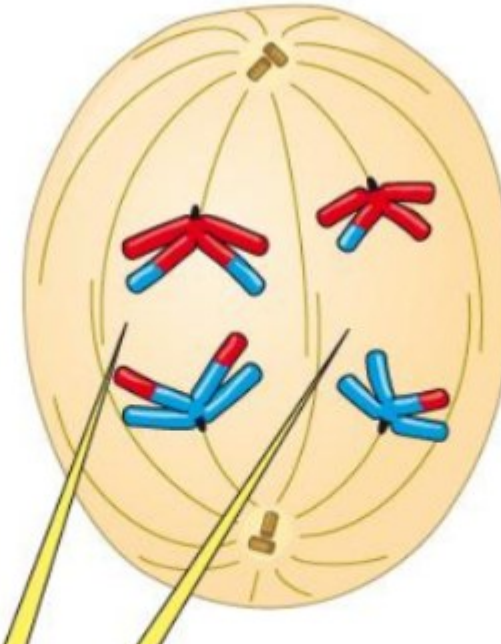


METAFASE I



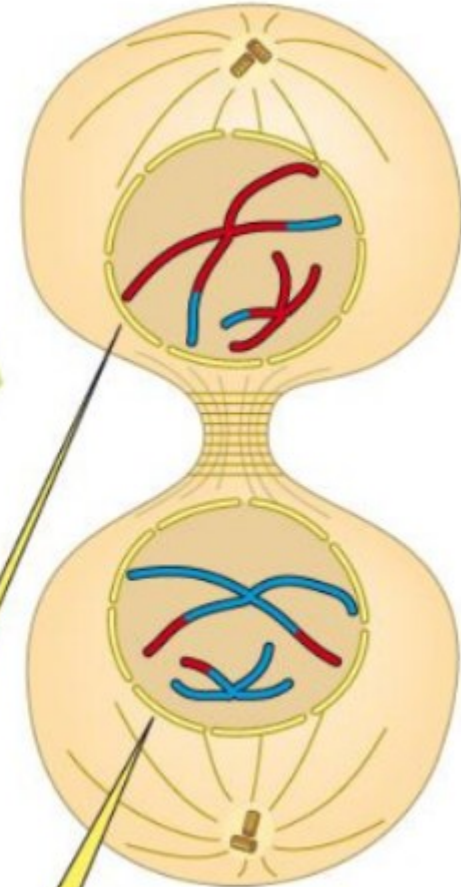
Metafase I: els bivalents o tètades es situen al pla equatorial de la cèl·lula.

ANAFASE I

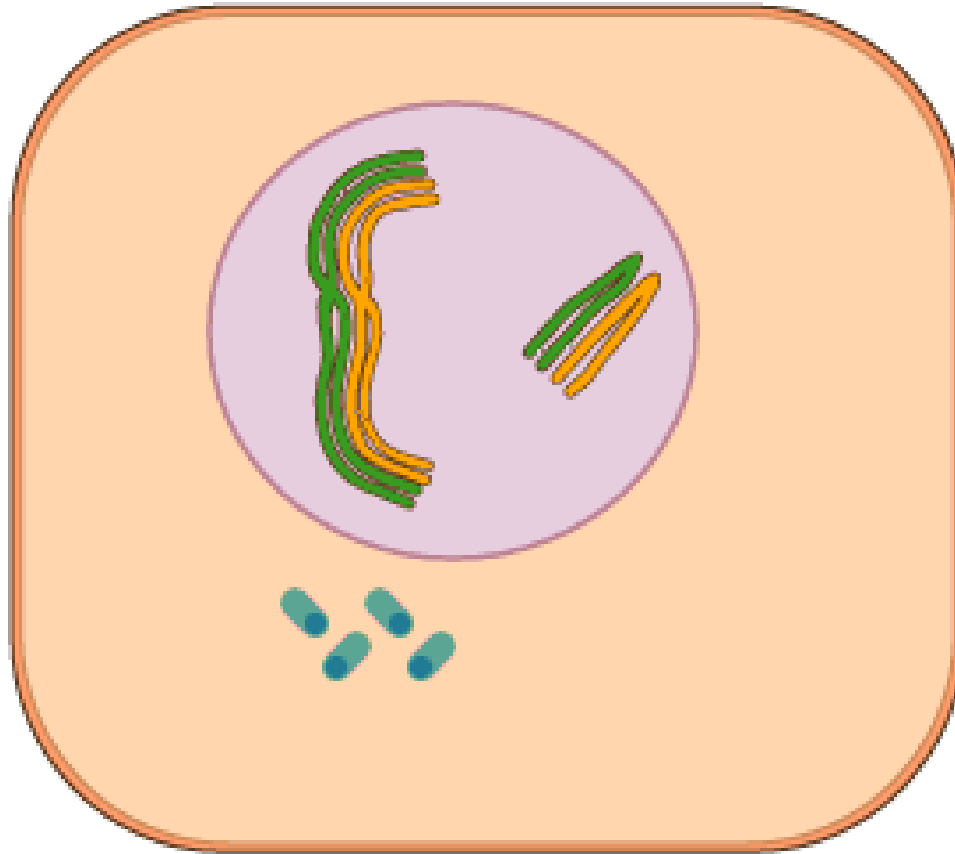


Anafase I: els cromosomes homòlegs que formen cada bivalent es separen i migren cadascun cap a un pol de la cèl·lula.

TELOFASE I / CITOCINESI I



Telofase I / Citocinesi I: es reconstruïxen els embolcalls nuclears de les cèl·lules filles i es produeix la citocinesi. Les cèl·lules filles que es formen són haploides. Cada cromosoma té dues cromàtides.



Resultat de la **Meiosi I**:

Dues cèl·lules filles haploides (n), amb la meitat de cromosomes que la cèl·lula mare. Cada cromosoma amb dues cromàtides.

Meiosi II

Separació cromàtides germanes

La segona divisió meiòtica ...

- està precedida d'una breu interfase, **la intercinesi**, en la que **no hi ha duplicació del DNA**.
- és **semblant a una divisió mitòtica**, tret en el fet que només hi ha un cromosoma homòleg de cada tipus en lloc de dos.

Fases de la Meiosi II

Profase II

Metafase II

Anafase II

Telofase II

Citocinesi

MEIOSIS II: Separació cromàtides germanes

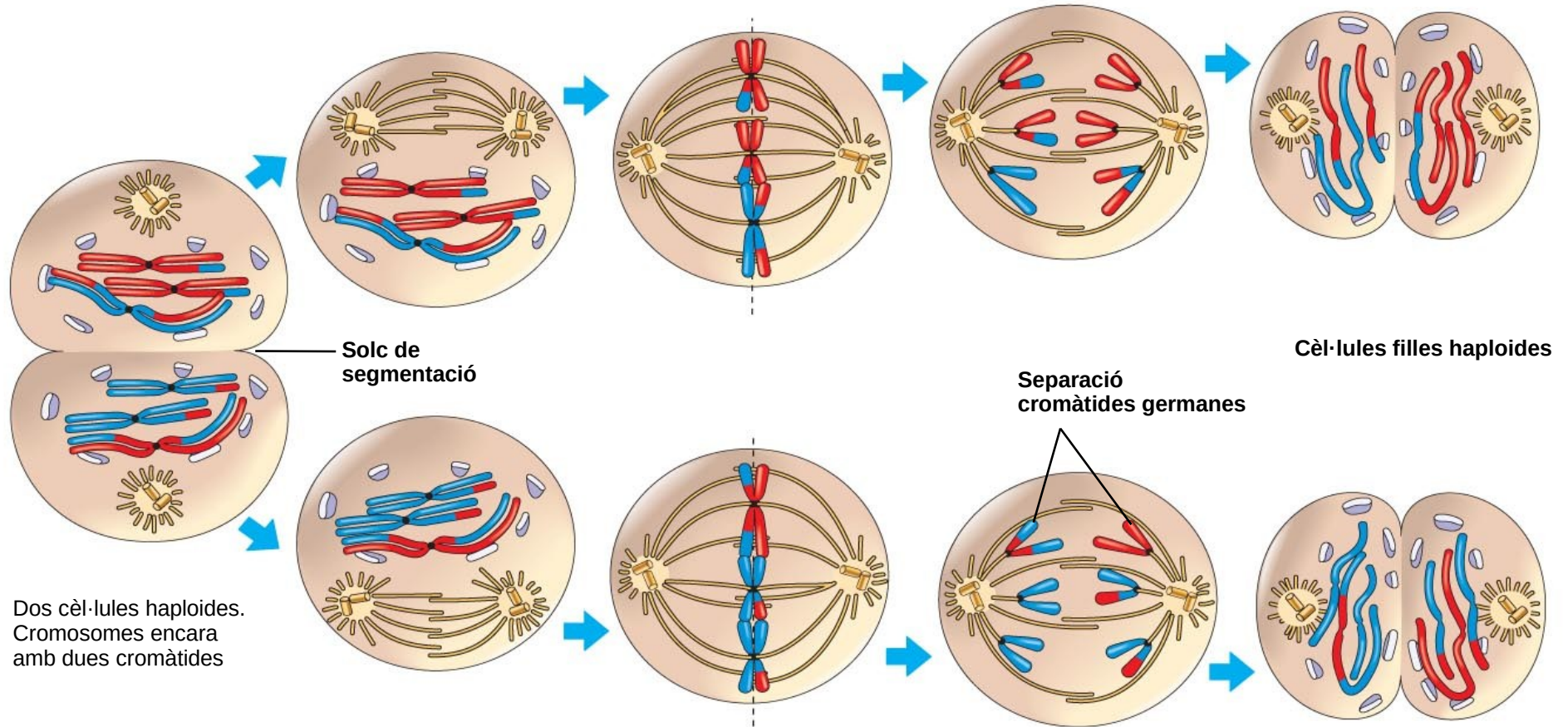
TELOFASE I
citocinesi I

PROFASE II

METAFASE II

ANAFASE II

TELOFASE II i
citocinesi II



MEIOSI II

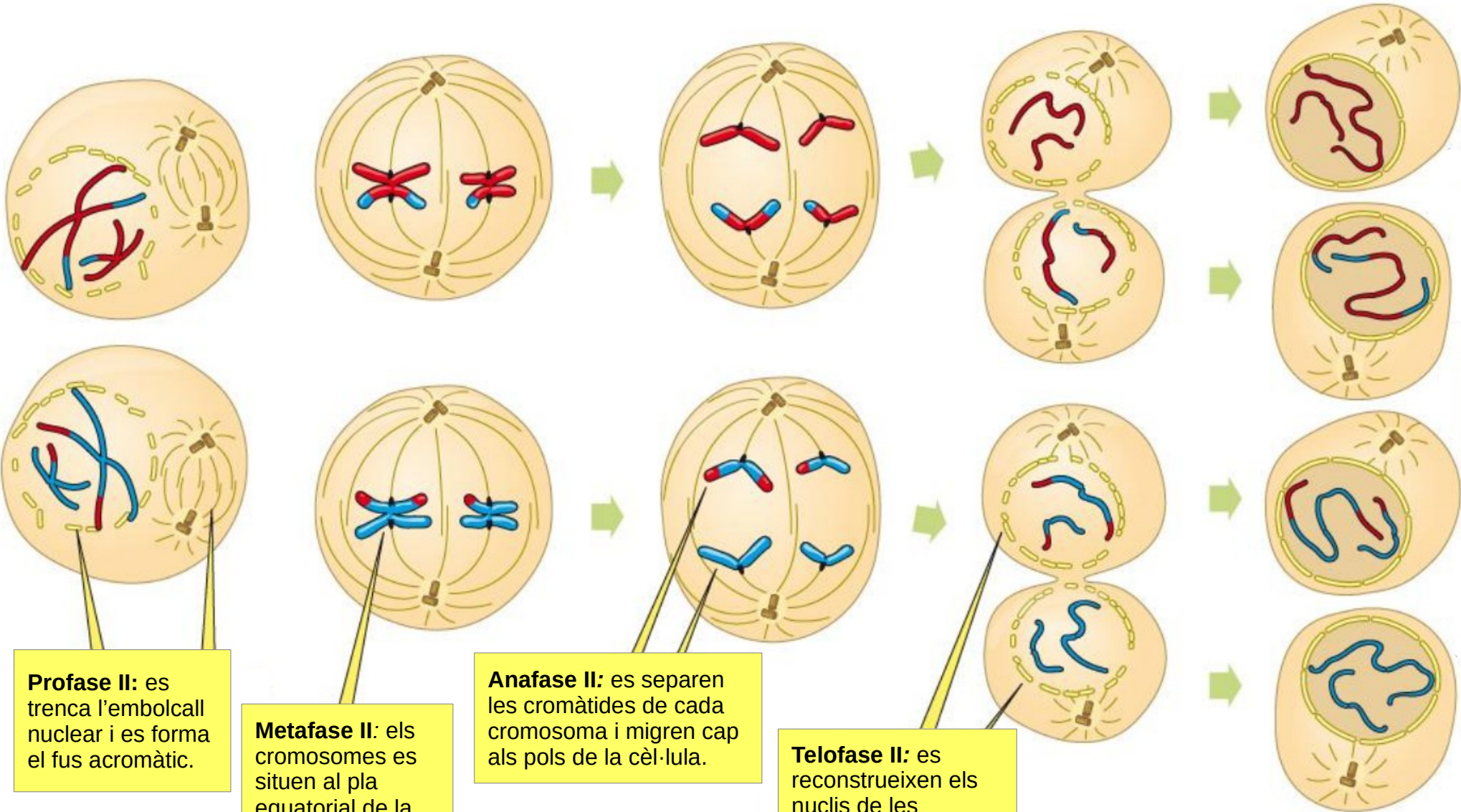
PROFASE II

METAFASE II

ANAFASE II

TELOFASE II

CÈL·LULES
FILLES



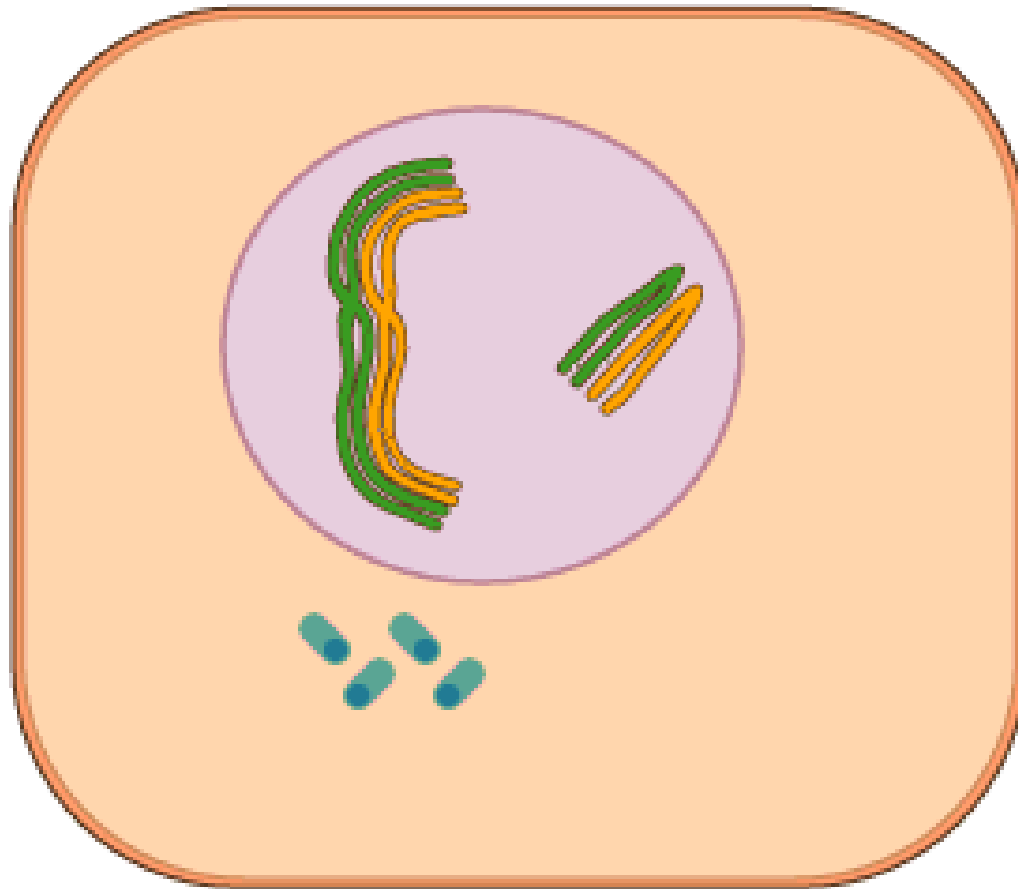
Profase II: es trenca l'embolcall nuclear i es forma el fus acromàtic.

Metafase II: els cromosomes es situen al pla equatorial de la cèl·lula.

Anafase II: es separen les cromàtides de cada cromosoma i migren cap als pols de la cèl·lula.

Telofase II: es reconstrueixen els nuclis de les cèl·lules filles. Els cromosomes es descondensen.

Final meiosi: s'han format 4 cèl·lules haploides (n) a partir d'una cèl·lula mare diploide ($2n$).



Resultat de la MEIOSI:

Quatre cèl·lules amb **n** cromosomes. Cada cromosoma amb una cromàtide.

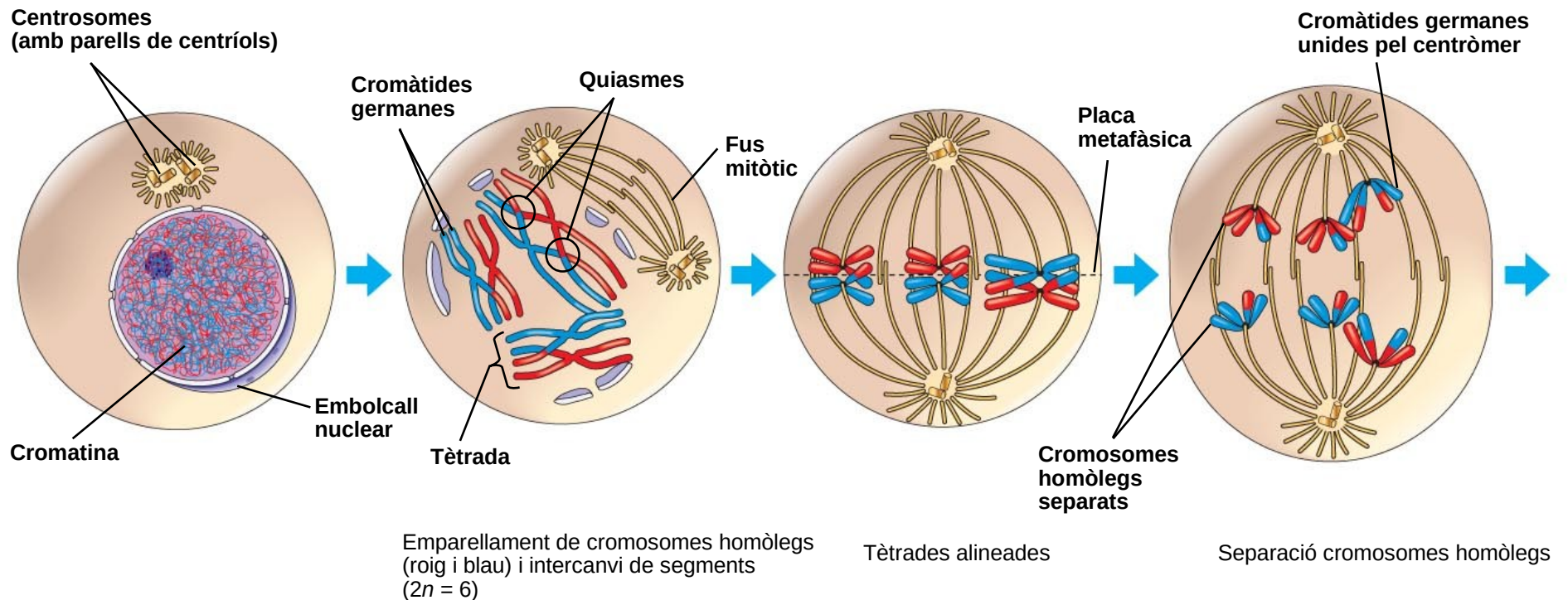
INTERFASE

MEIOSIS I: Separació dels cromosomes homòlegs

PROFASE I

METAFASE I

ANAFASE I



MEIOSIS II: Separació cromàtides germanes

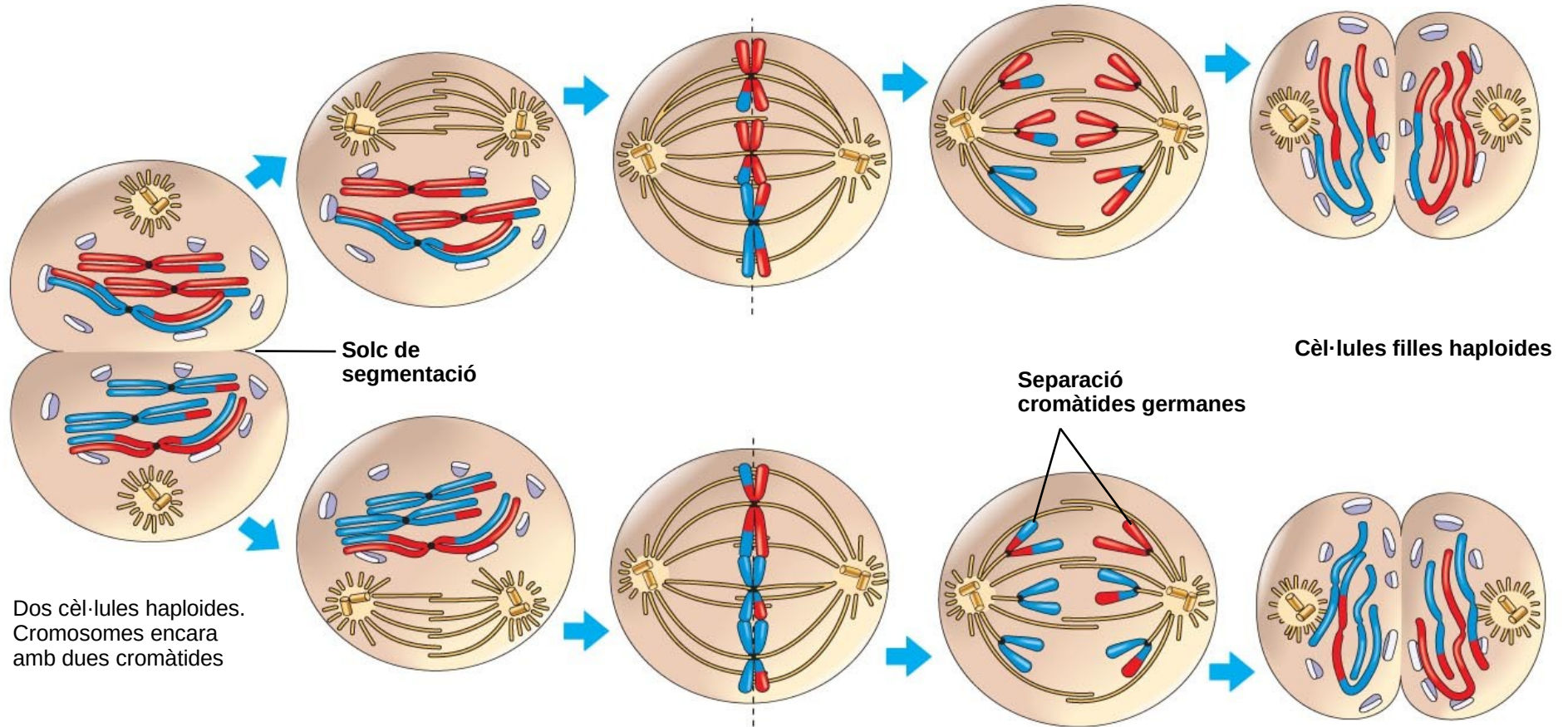
TELOFASE I
citocinesi I

PROFASE II

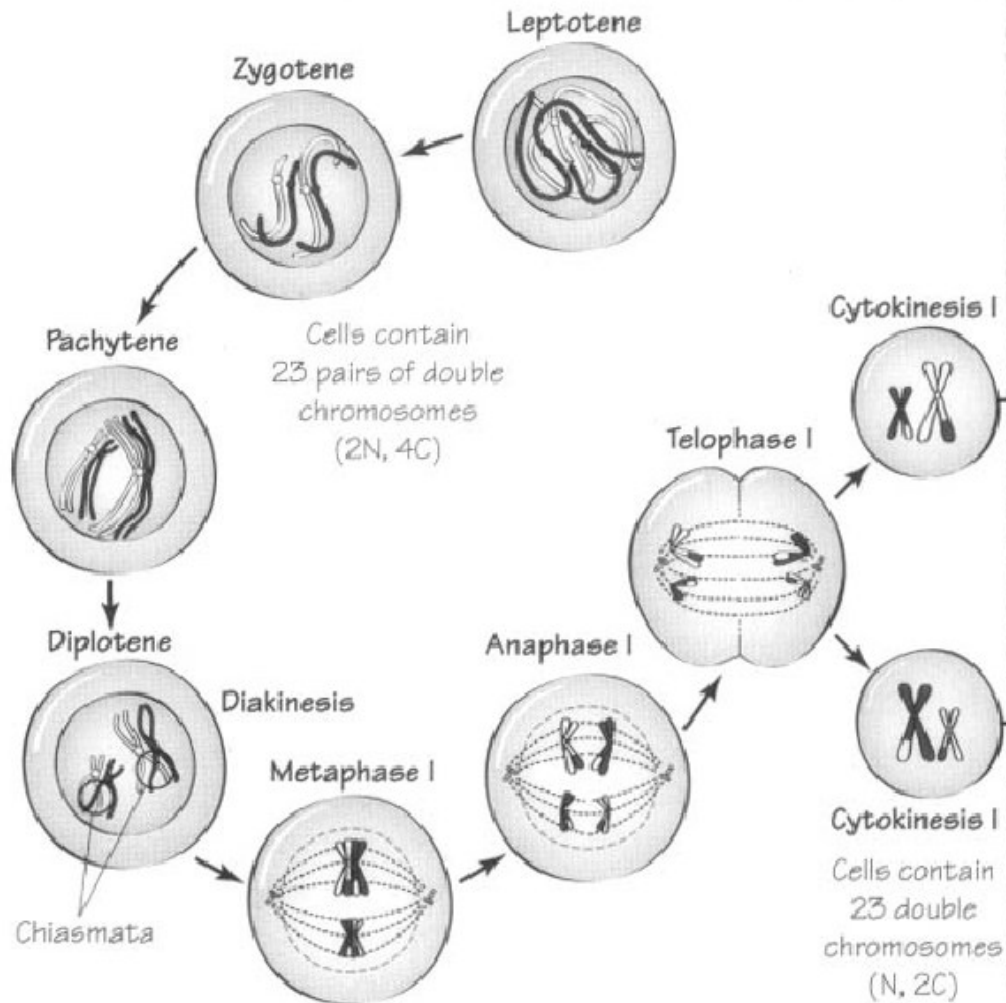
METAFASE II

ANAFASE II

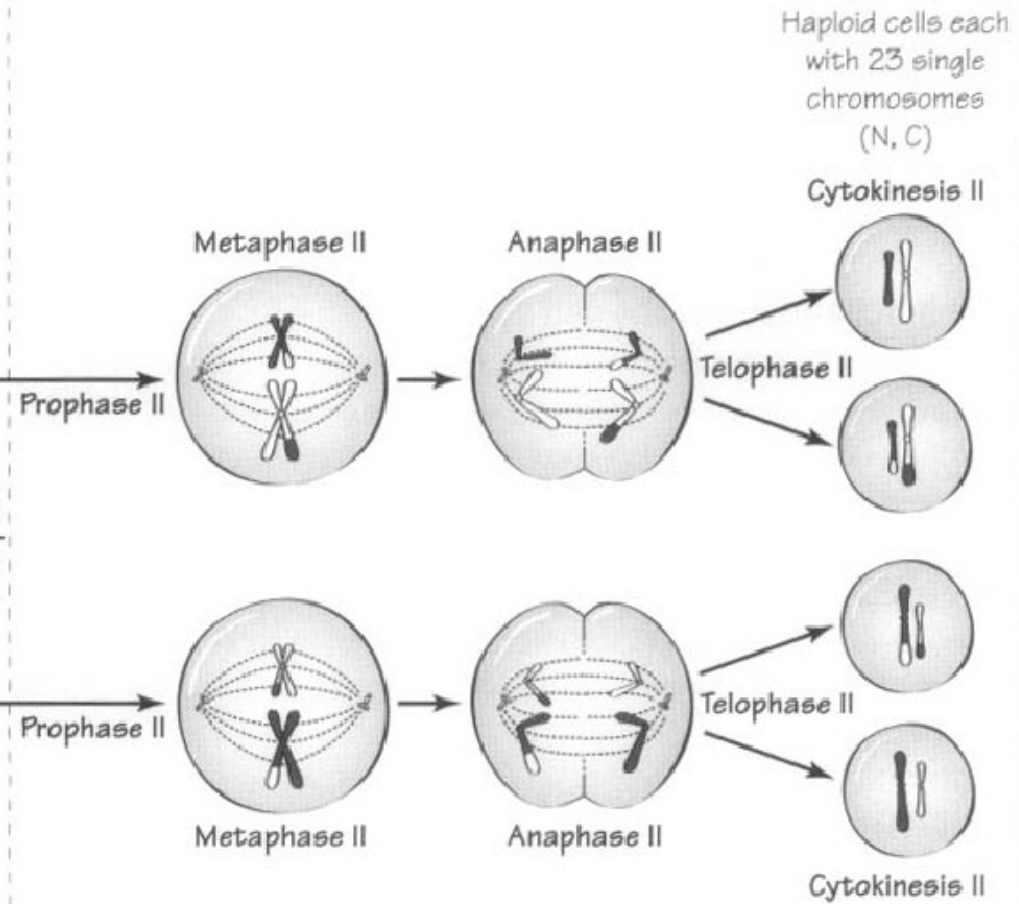
TELOFASE II i
citocinesi II



Meiosis I



Meiosis II



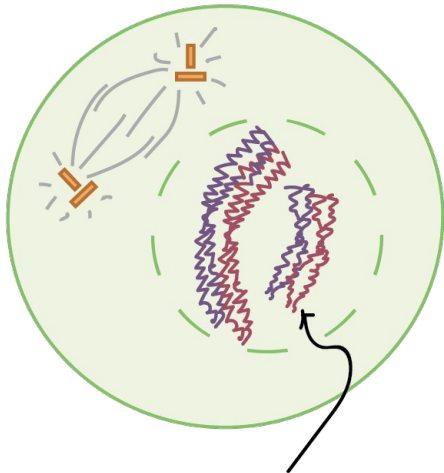
Cytokinesis I
Cells contain 23 double chromosomes ($N, 2C$)

For simplicity only two pairs of autosomes are shown

FASES DE MEIOSIS I

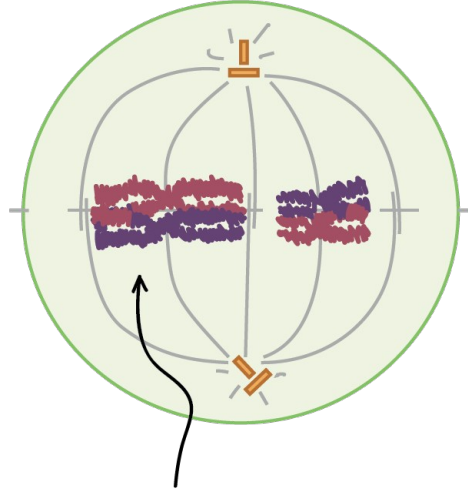
Profase I

célula inicial es diploide ($2n=4$)



cromosomas homólogos forman pares e intercambian fragmentos (entrecruzamiento)

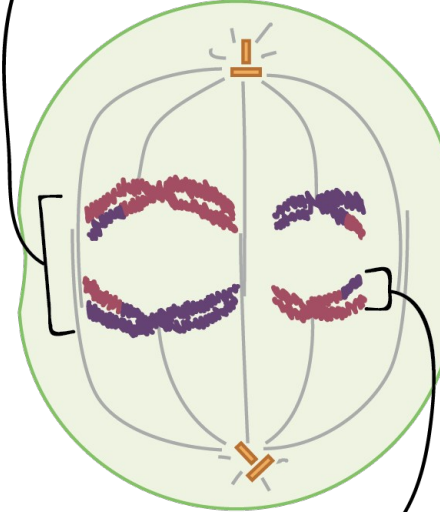
Metafase I



pares homólogos se alinean en la placa metafásica

Anafase I

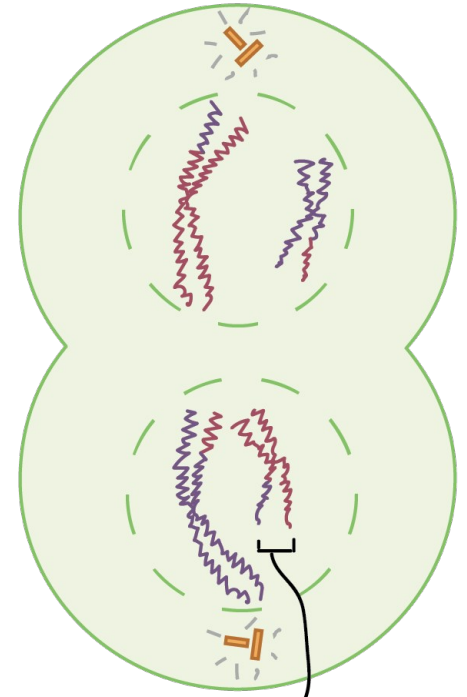
homólogos se separan a extremos opuestos de la célula



cromátidas hermanas se mantienen juntas

Telofase I

células recién formadas son haploides ($n=2$)



cada cromosoma tiene dos (diferentes) cromátidas hermanas

FASES DE MEIOSIS II

Profase II

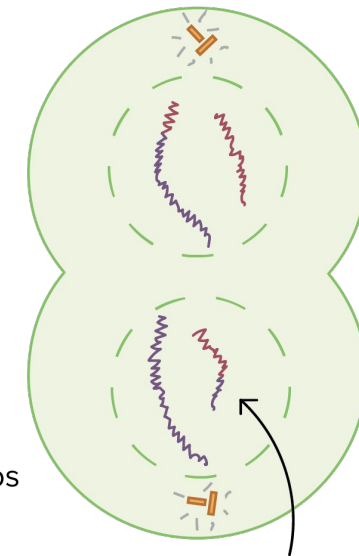
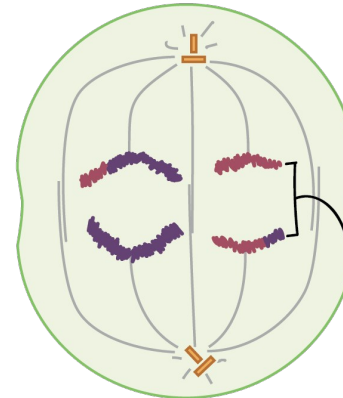
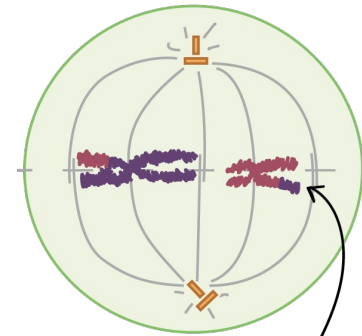
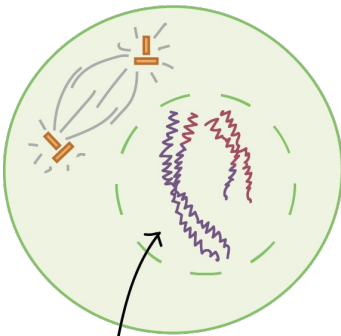
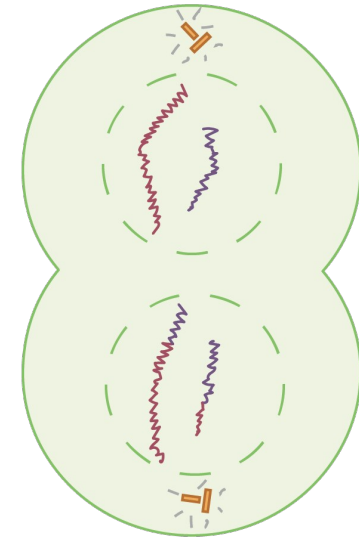
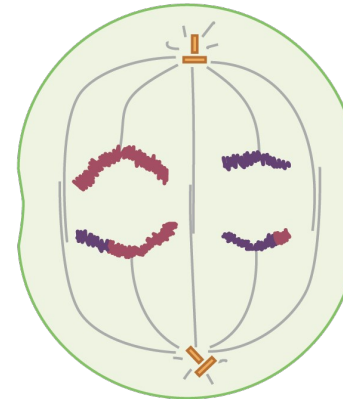
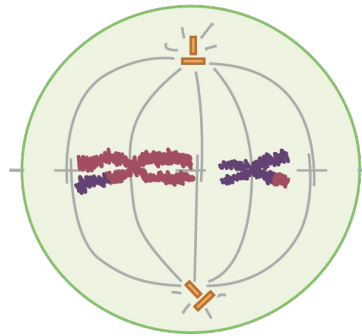
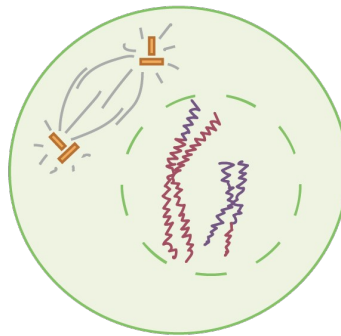
Metafase II

Anafase II

Telofase II

células iniciales son
haploides hechas en meiosis I

gametos recién formados
son haploides



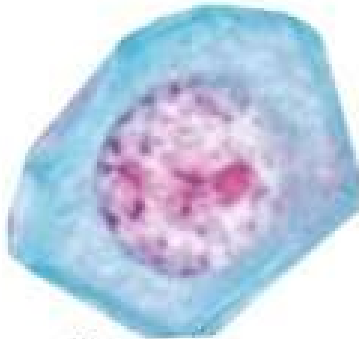
cromosomas se
condensan

cromosomas se alinean
en la placa metafásica

cromátidas hermanas se
separan a extremos opuestos
de la célula

cada cromosoma tiene
solo una cromátida

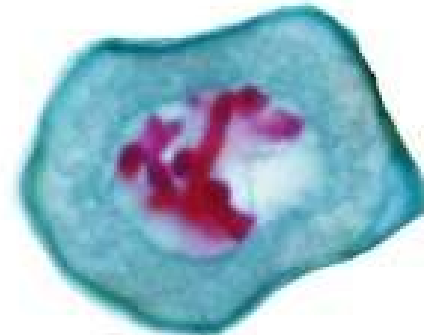
Meiosis I



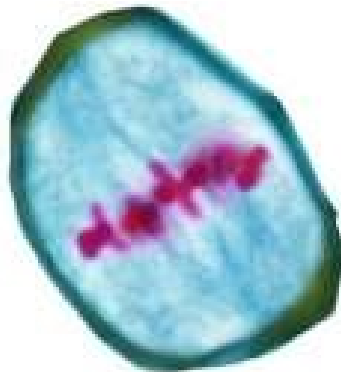
Interphase



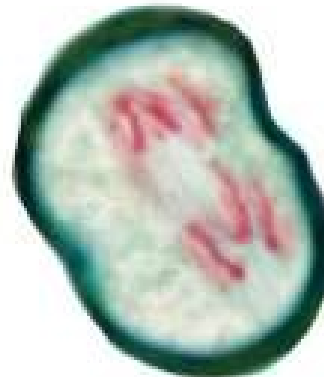
Early Prophase



Prophase



Metaphase



Anaphase



Telophase

Meiosis II



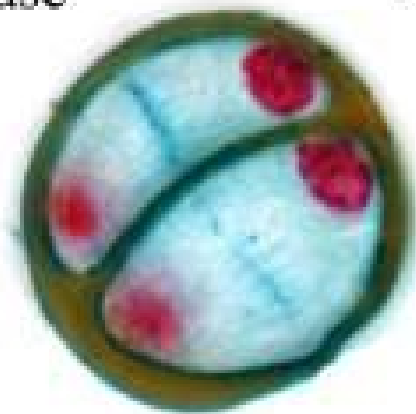
Prophase



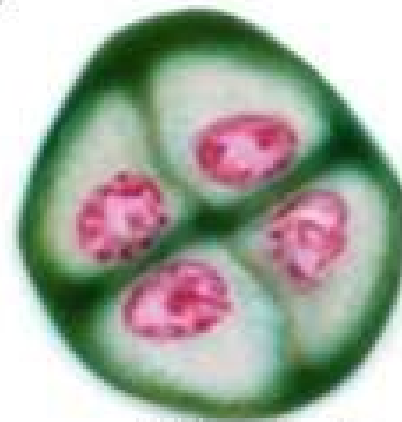
Metaphse



Anaphase



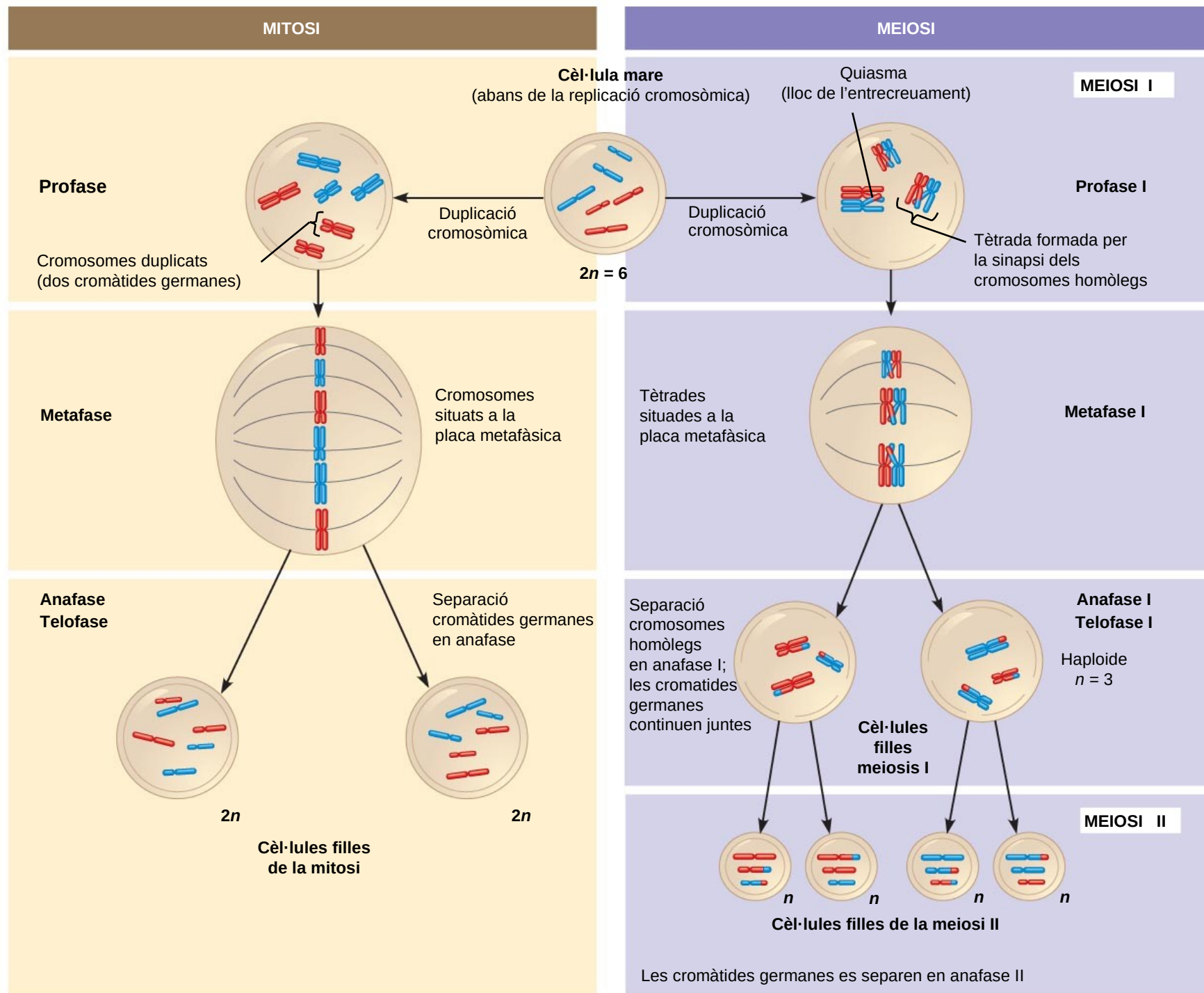
Telophase



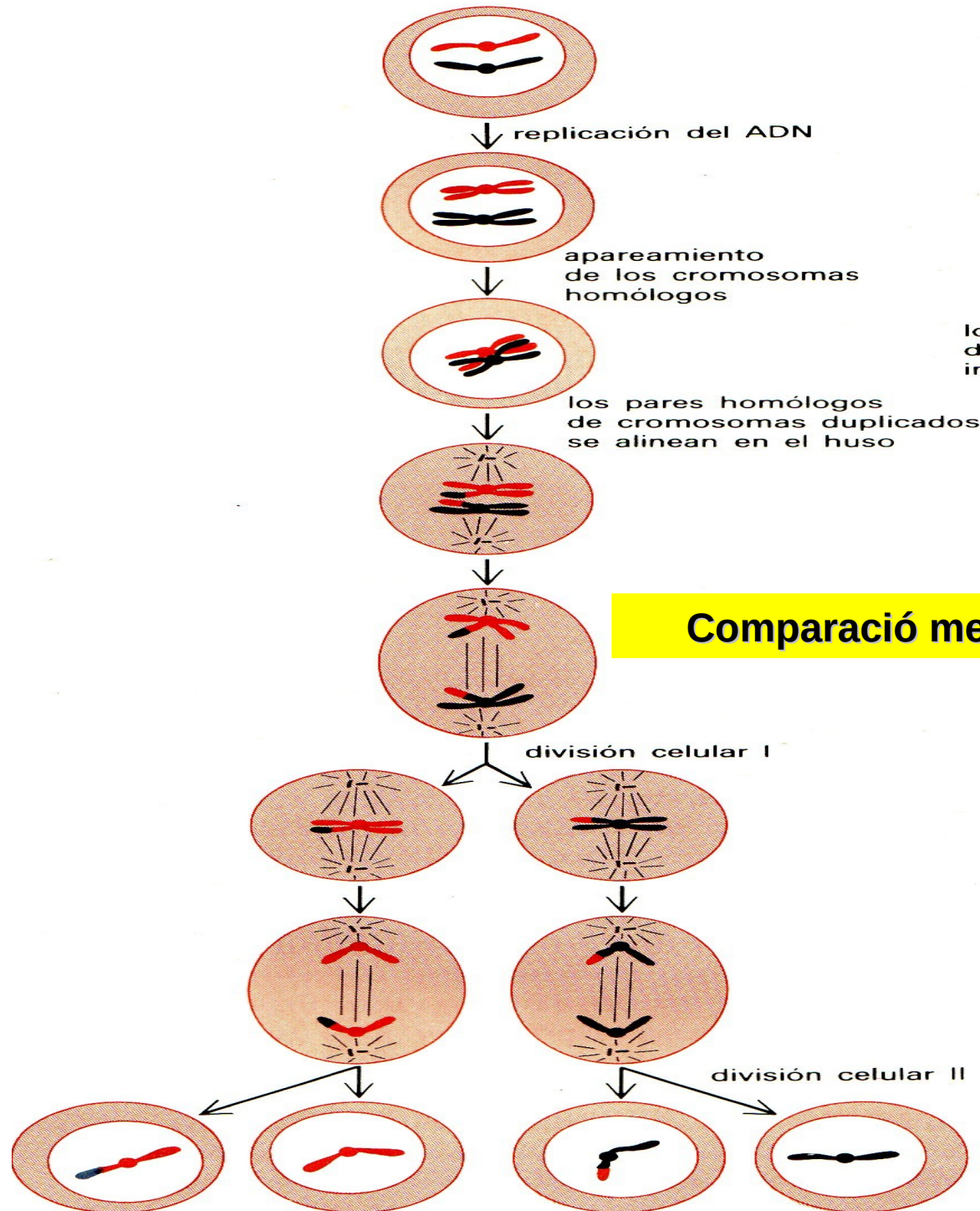
Tetrad of
Microspores

Comparació entre mitosi i meiosi.

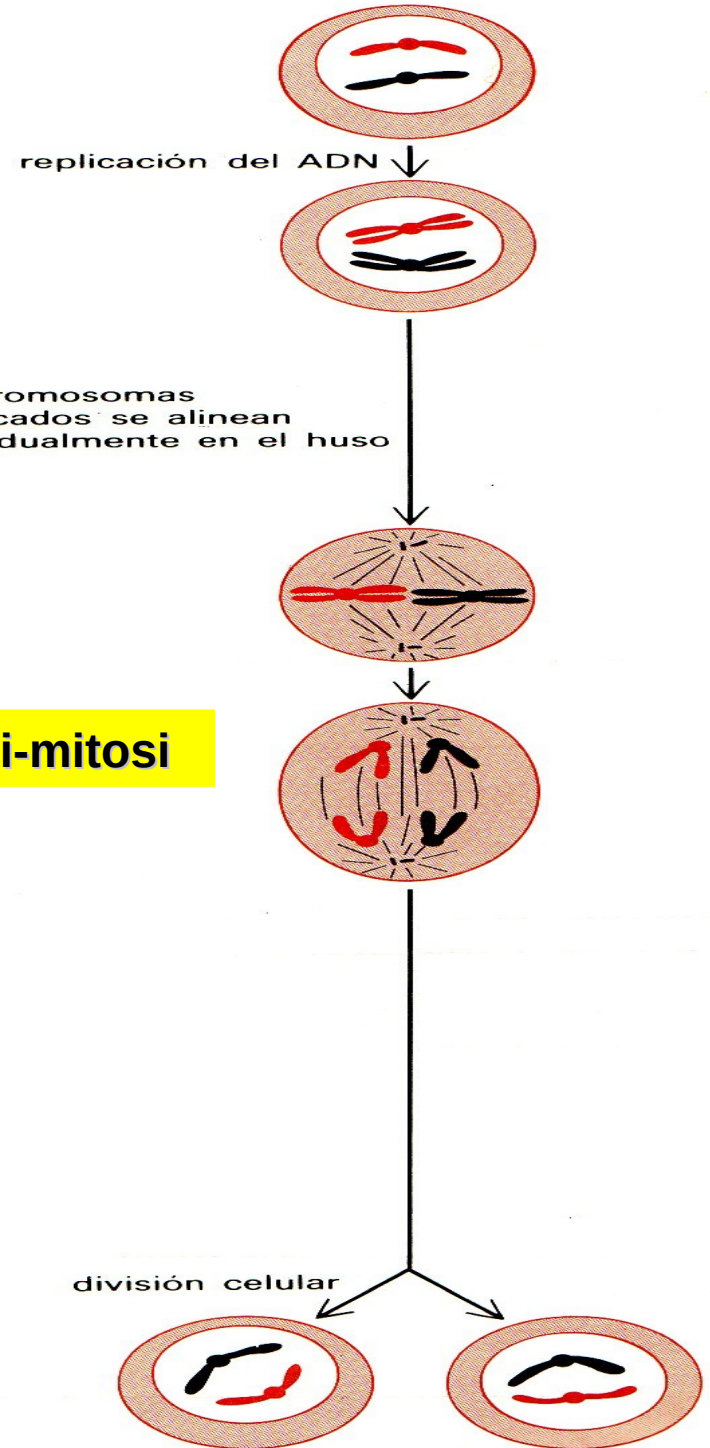
MITOSI	MEIOSI
Comprèn una única divisió cel·lular.	Comprèn dos divisions cel·lulars.
Resultat: 2 cèl·lules amb mateix nombre cromosomes mare.	Resultat: 4 cèl·lules amb meitat cromosomes mare.
Profase: no sinapsi, no entrecreuament, no quiasmes, no recombinació.	Profase I: sinapsi, entrecreuament, quiasmes, recombinació genètica.
Metafase: cromosomes alineats individualment a la placa equatorial.	Metafase I: bivalents alineats a la placa equatorial.
Anafase: separació de cromàtides germanes.	Anafase I: separació cromosomes homòlegs.
Cromosomes cèl·lules filles idèntics als de la cèl·lula mare (si no hi ha mutació)	Aproximadament la $\frac{1}{2}$ dels cromosomes de les cèl·lules filles són producte de la recombinació genètica.
Es dona en cèl·lules somàtiques	Es dona en cèl·lules mare dels gàmetes i meiòspores.



MEIOSIS

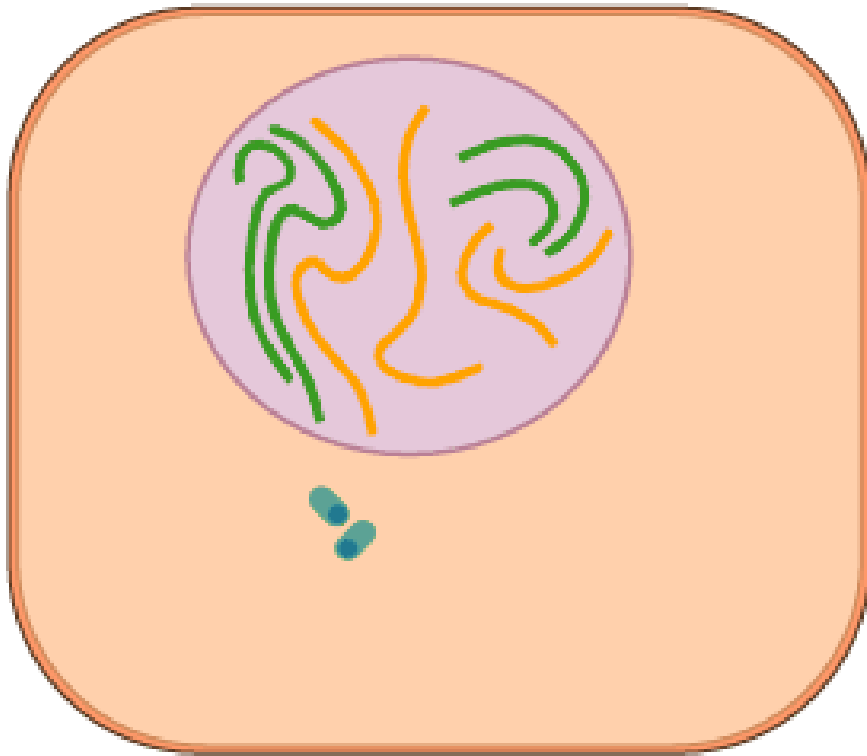


MITOSIS

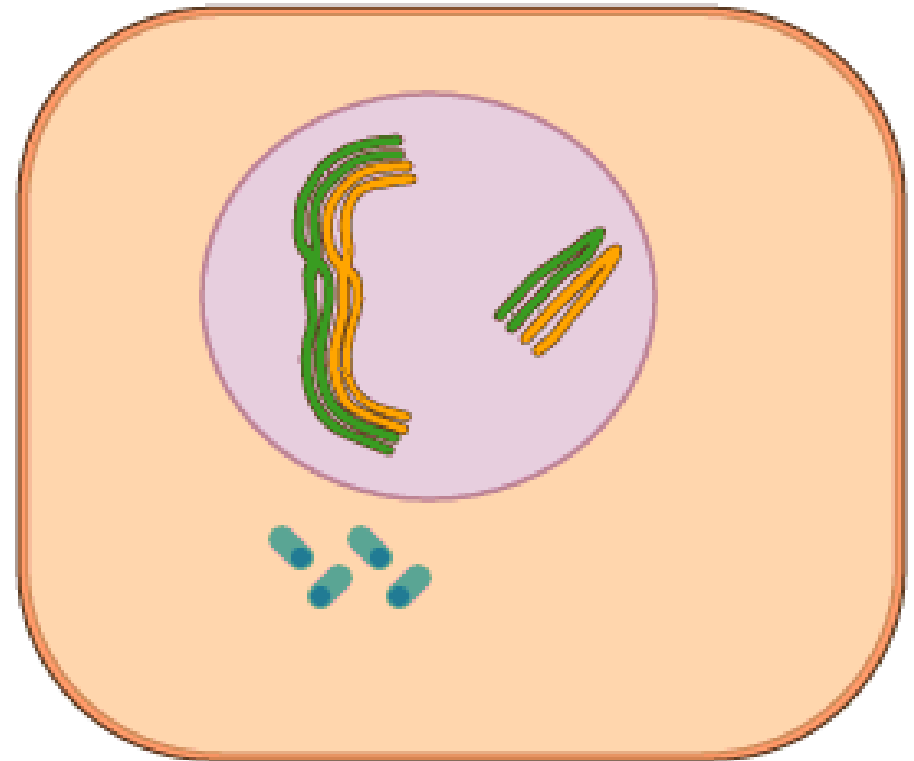


Comparació meiosi-mitosi

MITOSI



MEIOSI



Avantatges de la reproducció sexual

Variabilitat genètica de la descendència

Suposa un avantatge per a l'espècie davant d'un canvi dràstic de les condicions ambientals, ja que permet que alguns individus puguin sobreviure i per tant reproduir-se i mantenir l'espècie.

A què es deguda la variabilitat genètica de la descendència?

1) A la **meiosi**

- Recombinació a l'atzar de gens entre les cromàtides homòlogues d'una parella durant la profase I.
- Alineació a l'atzar dels cromosomes a l'equador de la cèl·lula durant la metafase I i la metafase II.

2) A la **fecundació**

- Unió a l'atzar dels gàmetes masculins i femenins.

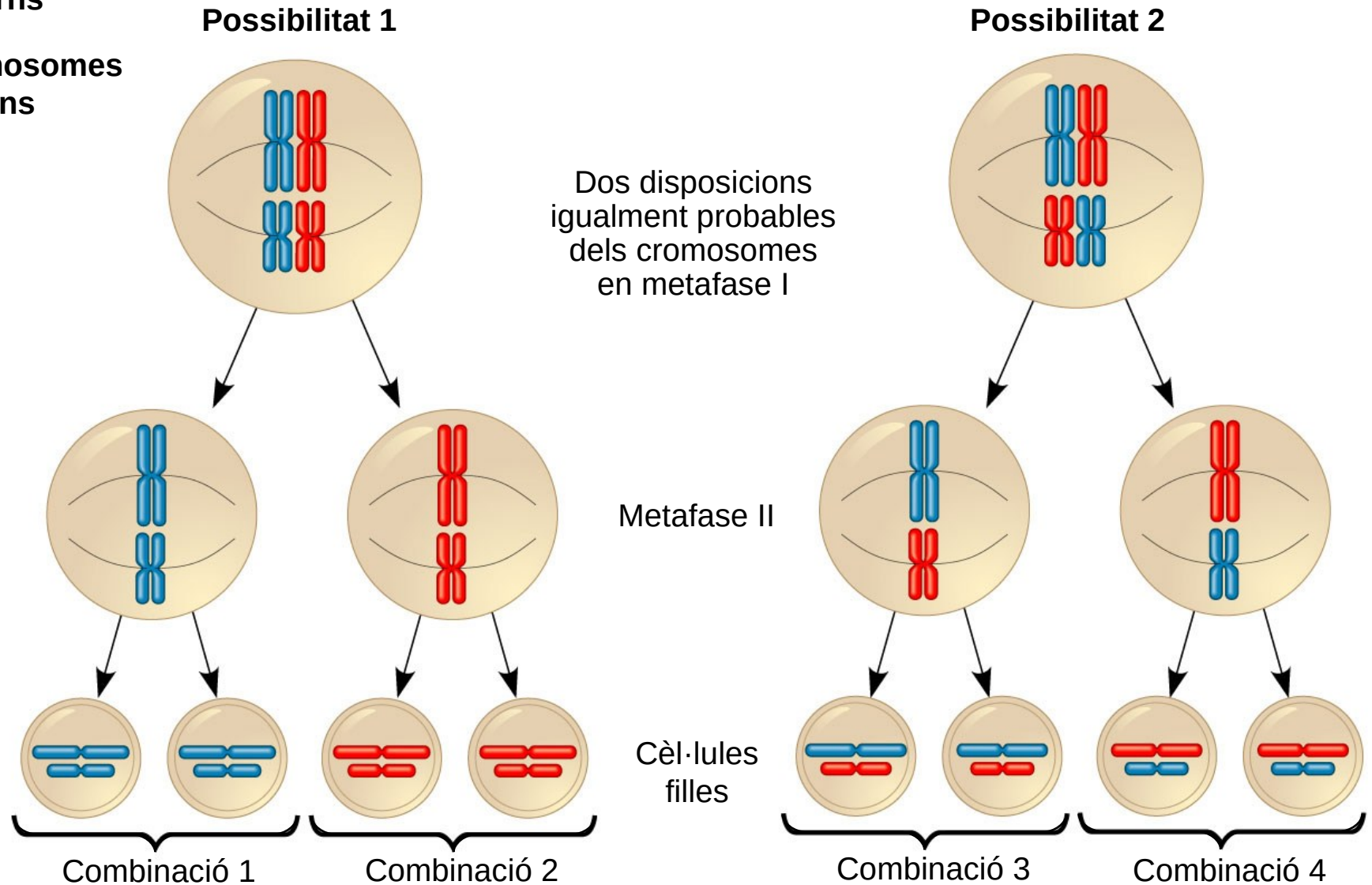
Desavantatges reproducció sexual

- Si l'**ambient és invariable** és millor generar individus idèntics als pares, ja que hi estan perfectament adaptats a l'ambient.
- El fet de tenir de produir-se la **unió dels gametes** pot comportar **la dificultat de la trobada** de les dues cèl·lules sexuals: dificultats en trobar parella, dificultats en l'aparellament, possibles problemes en la fecundació i en el desenvolupament embrionari, etc.

Distribució independent dels cromosomes homòlegs en la meiosi

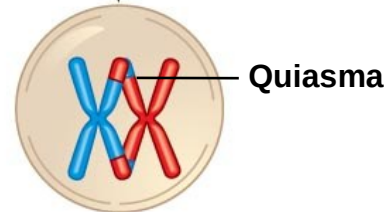
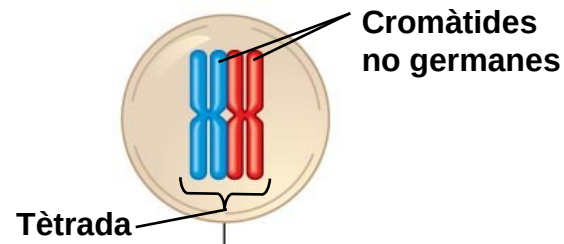
Llegenda

-  Cromosomes materns
-  Cromosomes paterns

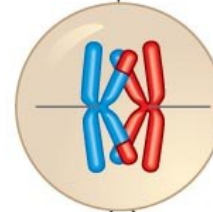


Resultats de l'entrecreuament durant la meiosi

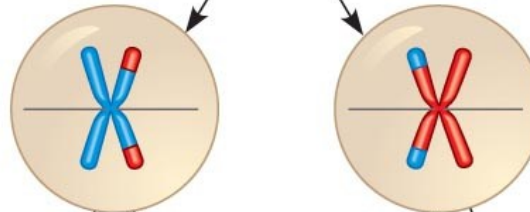
Profase I
meiosi



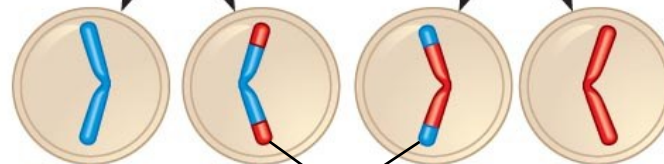
Metafase I



Metafase II

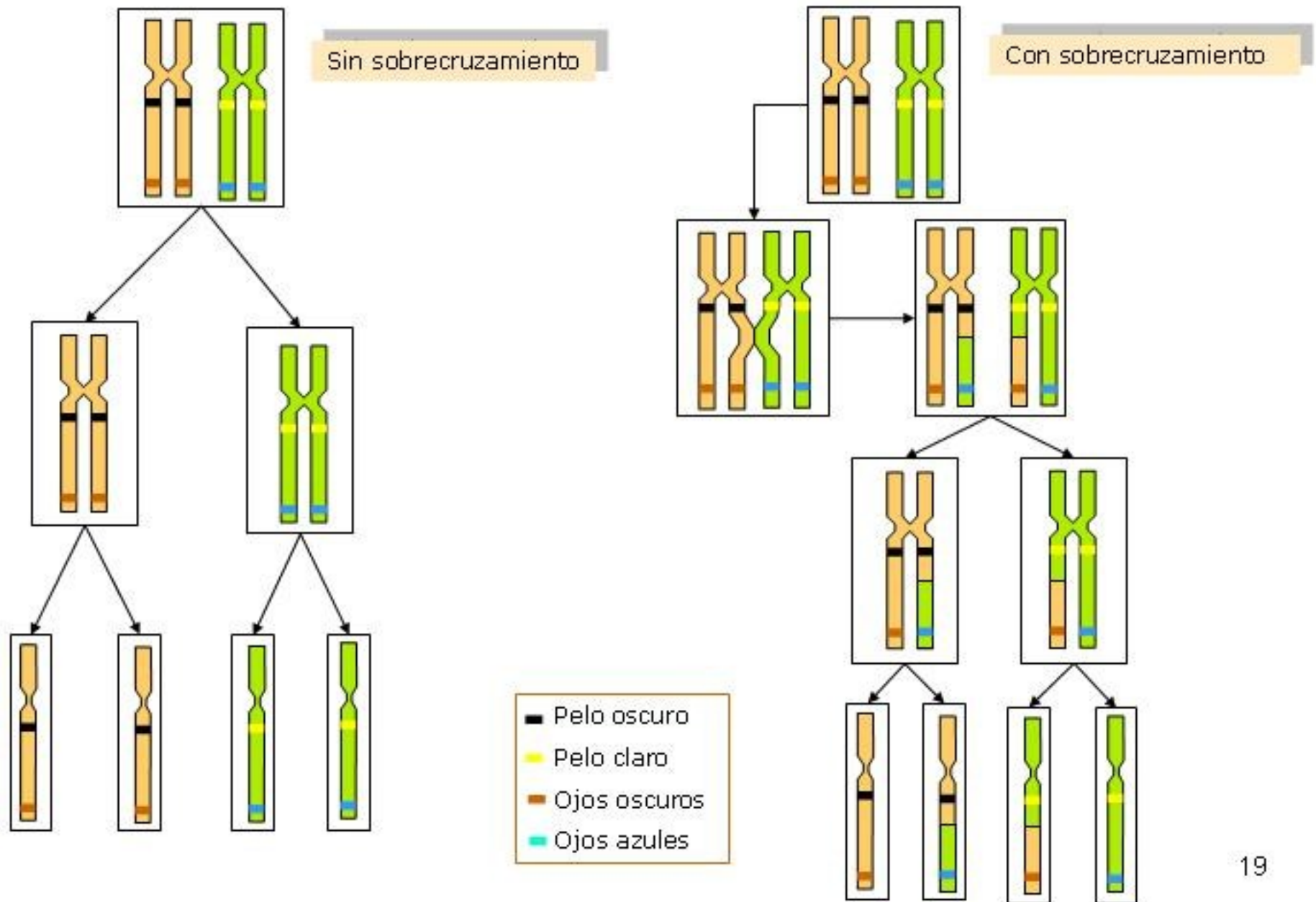


Cèl·lules
filles

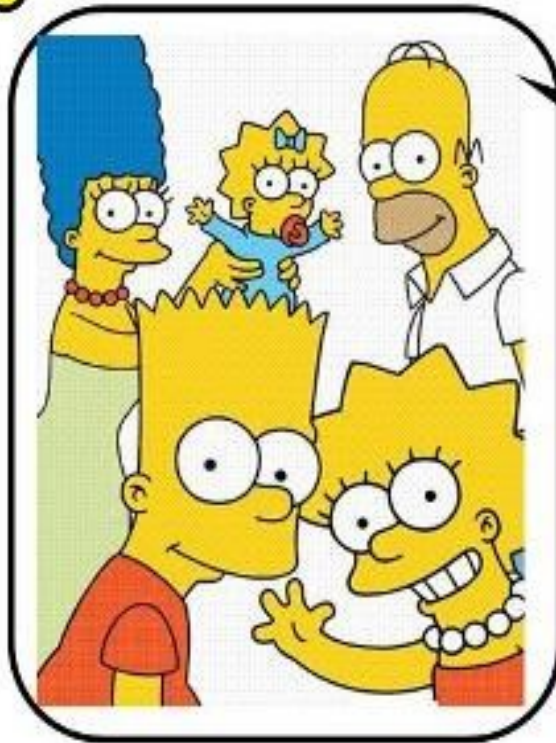


Cromosomes recombinants

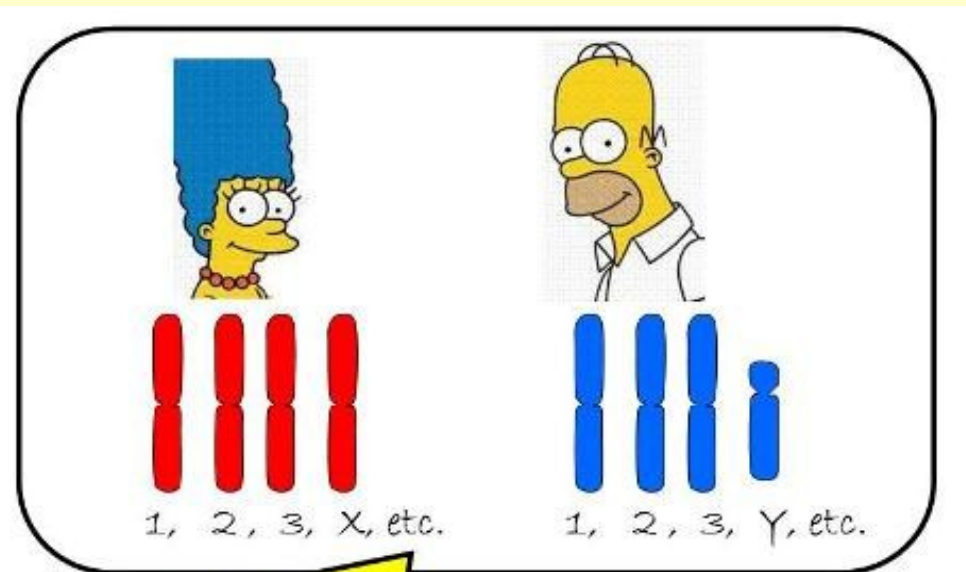
La importancia del sobrecruzamiento



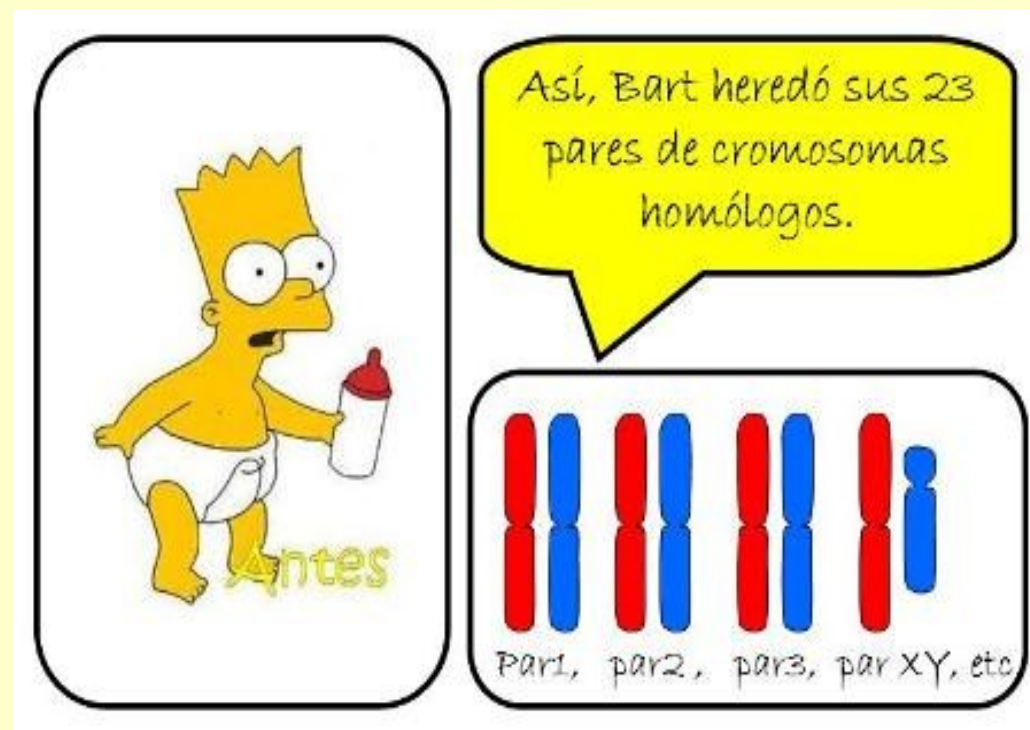
La meiosis, la diversidad y ... los Simpsons



Marge y Homero Simpson son los padres de Bart, Maggie y Lisa Simpson. Sus tres hijos son muy diferentes entre sí.

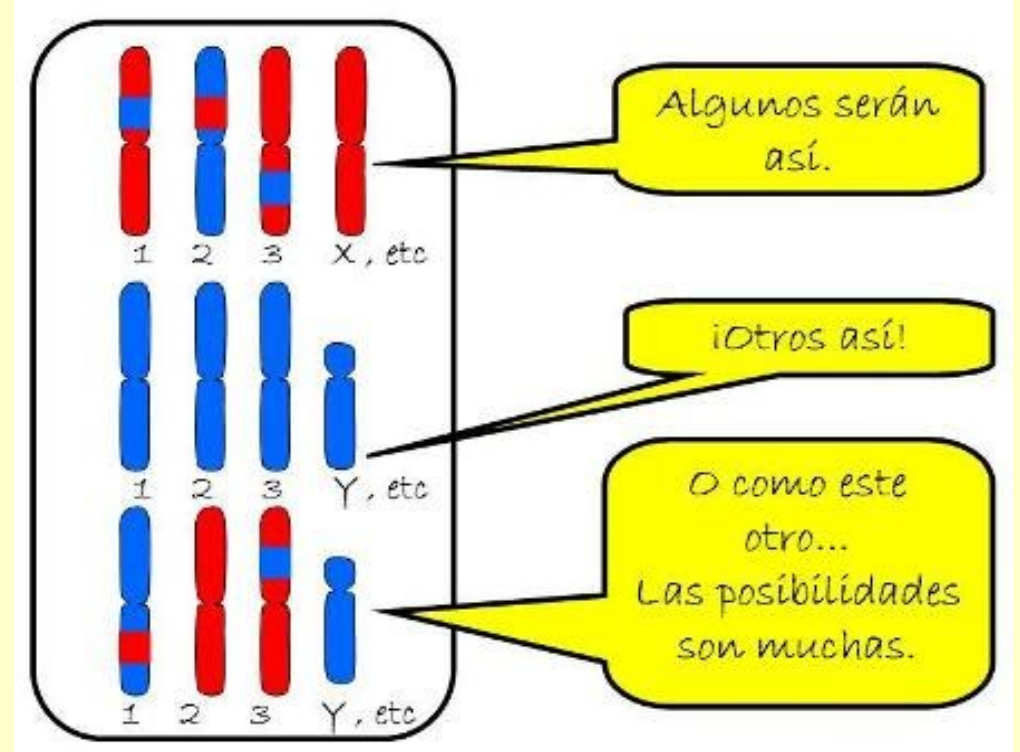


Cuando Marge y Homero concibieron a Bart, Marge le transmitió 23 cromosomas (entre ellos el X) y Homero otros 23 (entre ellos el Y).





A llegar a la adolescencia, Bart producirá sus propios espermatozoides. Todos tendrán 23 cromosomas, pero...



¿Cuánto y en qué se parecerán los hijos de Bart a Homero y a Marge?

Eso es una cuestión de azar.