

► Cicle cel·lular

Qualsevol cèl·lula procedeix d'una altra cèl·lula, va establir Rudolf Virchow en la seva obra *Die Cellularpathologie* el 1858. Aquest concepte constitueix la base de la **teoria cel·lular** i descarta la generació espontània. Des de l'origen de la vida, fa més de 3000 milions d'anys, tots els organismes vius (des dels bacteris fins als mamífers) són el resultat de voltes successives de creixement i divisió cel·lular.

S'anomena **cicle cel·lular** la sèrie ordenada d'esdeveniments a través dels quals les cèl·lules primer dupliquen el seu contingut (especialment, tot el DNA) i després es divideixen:

- Als organismes **unicel·lulars** (com els bacteris i els llevats), cada divisió cel·lular genera un o diversos organismes complets.
- Als organismes **pluricel·lulars**, la producció d'un nou organisme requereix seqüències llargues i complexes de divisions cel·lulars (vegeu l'apartat 24). Tanmateix, fins i tot els individus adults (que ja no creixen) estan produint milions de cèl·lules noves cada segon per reposar les que moren.

Els detalls del cicle cel·lular varien entre les diferents espècies d'organismes, però l'esquema bàsic és universal:

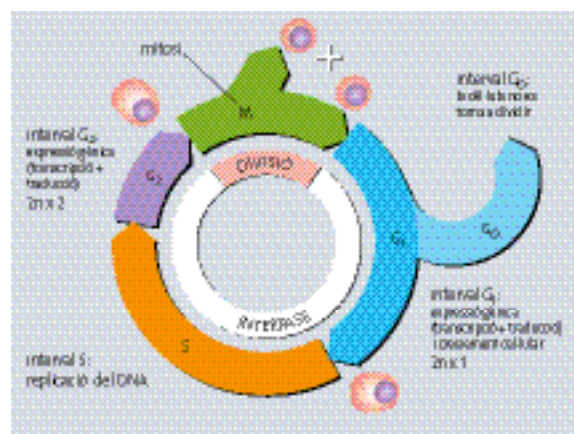


Figura 27. Fases del cicle cel·lular.

- **Fase G₁** (interval 1, de *gap*).
- **Fase S** (*síntesi*). El DNA es replica. Generalment dura la meitat del cicle cel·lular.
- **Fase G₂** (interval 2).
- **Fase M** (*mitosi*) (vegeu la pàgina següent).

Les fases G₁ i G₂ són més que períodes d'espera que permeten créixer la cèl·lula: proporcionen temps perquè la cèl·lula asseguri que les fases anteriors s'han completat correctament i el medi és adequat per continuar el cicle. Si les condicions són desfavorables, la cèl·lula en fase G₁ pot entrar en una fase de repòs especialitzat anomenat **fase G₀** en el qual es pot mantenir durant anys. A les fases G₁, S i G₂, se les anomena conjuntament **interfase**. A les cèl·lules humanes, la interfase pot durar 23 de les 24 hores del cicle cel·lular, i la fase M, una hora.

► Tipus de divisions cel·lulars

- **Bipartició**. Es formen dues cèl·lules filles, iguals entre elles.
- **Divisió múltiple**. Es formen més de dues cèl·lules filles.
- **Gemmació**. Una de les cèl·lules (**gemma** o cèl·lula filla) és molt més petita que la cèl·lula mare.
- **Esporulació**. Es formen moltes cèl·lules filles (**espores**), que s'alliberen de la coberta de la cèl·lula original quan les condicions ambientals són adequades.

► Replicació del DNA

La divisió cel·lular comporta la necessitat de mantenir la identitat de la cèl·lula i, per tant, de la seva informació genètica.

La doble hèlix de DNA està formada per dues cadenes de polinucleòtids complementàries (vegeu l'apartat 14): cada adenina (A) està unida a una timina (T), i cada guanina (G), a una citosina (C) (figura 8 de l'apartat 13 i figura 28).

Durant la fase S (abans de l'inici de la divisió cel·lular), les dues cadenes del DNA es van separant i sobre cada una se'n sintetitza (amb l'ajut d'una sèrie d'enzims especialitzats, com les DNA-polimerases) una altra de complementària (A amb T, G amb C), de manera que al final del procés tot el DNA s'haurà **replicat**: cada cromàtide haurà generat dues cromàtides idèntiques a la inicial (vegeu l'apartat 18).

Es diu que aquesta divisió és **semiconservativa** perquè cadascuna de les noves dobles hèlixs conté una cadena nova i una altra d'antiga.

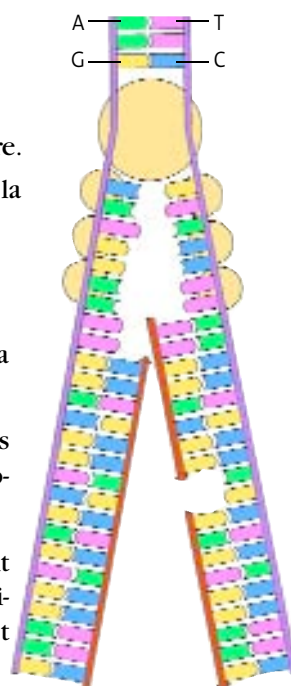


Figura 28. Duplicació del DNA. En taronja s'indiquen les cadenes noves.

► Mitosi i citocinesi (fase M) en una cèl·lula animal

Interfase

- La cèl·lula augmenta de mida.
- Durant la fase S (figura 27), les cromàtides es repliquen, i els centríols es dupliquen, que formen dos centrosomes i migren cap als pols de la cèl·lula.

Profase

- Es fan visibles els cromosomes replicats, formats per dues cromàtides germanes estretament unides.
- Entre els centrosomes es forma el fus mitòtic, constituït per microtúbuls.

Prometafase

- Comença amb el trencament de l'embolcall nuclear.
- Els cromosomes s'uneixen als microtúbuls del fus mitjançant els centròmers i comença el seu desplaçament actiu cap a l'equador de la cèl·lula.

Metafase

- Els cromosomes s'alineen a l'equador del fus i formen la placa equatorial a mig camí dels pols.
- Els microtúbuls tiben les cromàtides germanes cap als pols del fus (els cariotips sempre es fan amb cromosomes de la metafase).

Anafase

- Els microtúbuls es contreuen, tiben les cromàtides i els pols del fus se separen entre si.
- Les cromàtides germanes se separen i formen dos cromosomes fills, de manera que a cada pol del fus hi haurà una col·lecció completa de cromosomes.

Telofase

- Els dos jocs de cromosomes fills arriben als pols.
- Es reorganitza un nou embolcall nuclear al voltant de cada joc de cromosomes.
- Els cromosomes es descondensen.
- Es comença a organitzar un anell contràctil a l'equador de la cèl·lula.

Citocinesi

- El citoplasma es divideix en dos mitjançant un anell contràctil d'actina i miosina que estrangula la cèl·lula per la meitat i genera dues cèl·lules filles amb els nuclis respectius.
- Les cèl·lules filles tornen a entrar en interfase (fase G₁, figura 27).

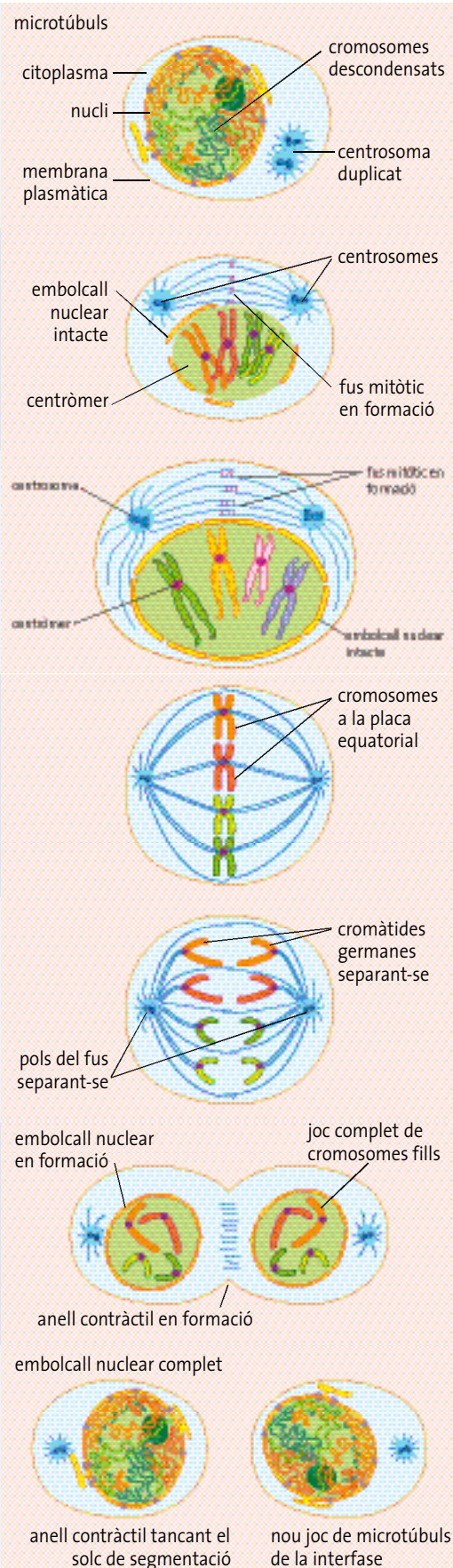
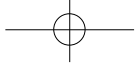


Figura 29. Etapes principals de la fase M (mitosi i citocinesi) d'una cèl·lula animal.



► Mitosi i citocinesi en una cèl·lula vegetal

El procés és essencialment el mateix que el d'una cèl·lula animal, tot i que presenta les diferències següents:

- **Mitosi:** les cèl·lules mantenen la seva forma i no s'arrodoneixen.
- **Profase:** les cèl·lules dels vegetals no tenen centríols, però també formen microtúbuls, els quals són atrets per determinades regions més denses del citoplasma.
- **Citocinesi:** a la regió equatorial es forma un envà de cel·lulosa aportada per vesícules del complex de Golgi.

► Meiosi

Concepte

- Molts organismes es reproduïxen sexualment: unes cèl·lules especials (**gàmetes**), que normalment són produïdes per dos individus diferents, s'uneixen, els seus nuclis es fusionen i formen una nova cèl·lula, la qual, quan es divideixi (per mitosi) i proliferi, originarà un nou individu.
- Als animals, els gàmetes són l'**espermatozoide**, procedent d'un individu masculí, i l'**òvul**, procedent d'un individu femení (vegeu l'apartat 24).
- Els gàmetes tenen la meitat dels cromosomes (**haploides**, n) (un dels cromosomes de cada parell) que les altres cèl·lules de l'individu (**diploides**, $2n$). Així, quan s'ajuntin, la cèl·lula filla (**zigot**) serà diploide i mantindrà el cariotip de l'espècie (vegeu l'apartat 18).
- La meiosi és el procés pel qual es produeixen quatre cèl·lules haploides a partir d'una cèl·lula diploide.

Etaques

La meiosi consta de dues divisions successives (figura 30):

- **Divisió meiòtica I**, en què el nombre de cromosomes es redueix a la meitat.
 - **Interfase I:** les cromàtides i el centrosoma es dupliquen.
 - **Profase I:** es formen els cromosomes duplicats i el fus.
 - **Prometafase I:** la principal diferència amb la prometafase de la mitosi és que els cromosomes homòlegs s'aparellen (*bivalent*) en la placa equatorial, i intercanvien fragments de DNA entre si (recombinació genètica).
 - **Metafase I:** cada bivalent es col·loca a la placa equatorial.
 - **Anafase I:** els filaments del fus arrossegueu cadascun dels cromosomes homòlegs (no cadascuna de les dues cromàtides de cada cromosoma, com en la mitosi) cap a un dels pols i separen els bivalents. Així, a cada pol hi ha n cromosomes amb dues cromàtides cada un.
 - **Telofase I:** es formen els nuclis fills, els cromosomes es descondensen.
 - **Citocinesi I:** es divideix el citoplasma. Les cèl·lules filles poden iniciar un estat de repòs o poden passar a la divisió meiòtica II.
- **Divisió meiòtica II**, que és essencialment igual que la mitosi, però amb cèl·lules haploides.
 - Les fases s'anomenen **interfase II** (sense replicació del DNA), **profase II**, **prometafase II**, **metafase II**, **anafase II**, **telofase II** i **citocinesi II**.

Funcions

- **Reducció a la meitat del material genètic**, és a dir, es formen cèl·lules haploides (n) a partir de cèl·lules diploides ($2n$). Cada cèl·lula filla tindrà un cromosoma de cada parell d'homòlegs. Això permet que en un altre moment del cicle biològic tingui lloc el procés complementari de la fecundació.
- **Augment de la variabilitat.** Durant la prometafase I, els cromosomes homòlegs s'aparellen, i poden intercanviar zones de les seves cromàtides (**recombinació gènica**). Així, cada cromosoma generat pot tenir fragments dels cromosomes dels seus antecessors, la qual cosa incrementa la variabilitat de la descendència. A més, els diferents parells de cromosomes homòlegs se separen a l'atzar, i es combinen aleatòriament en les cèl·lules filles.

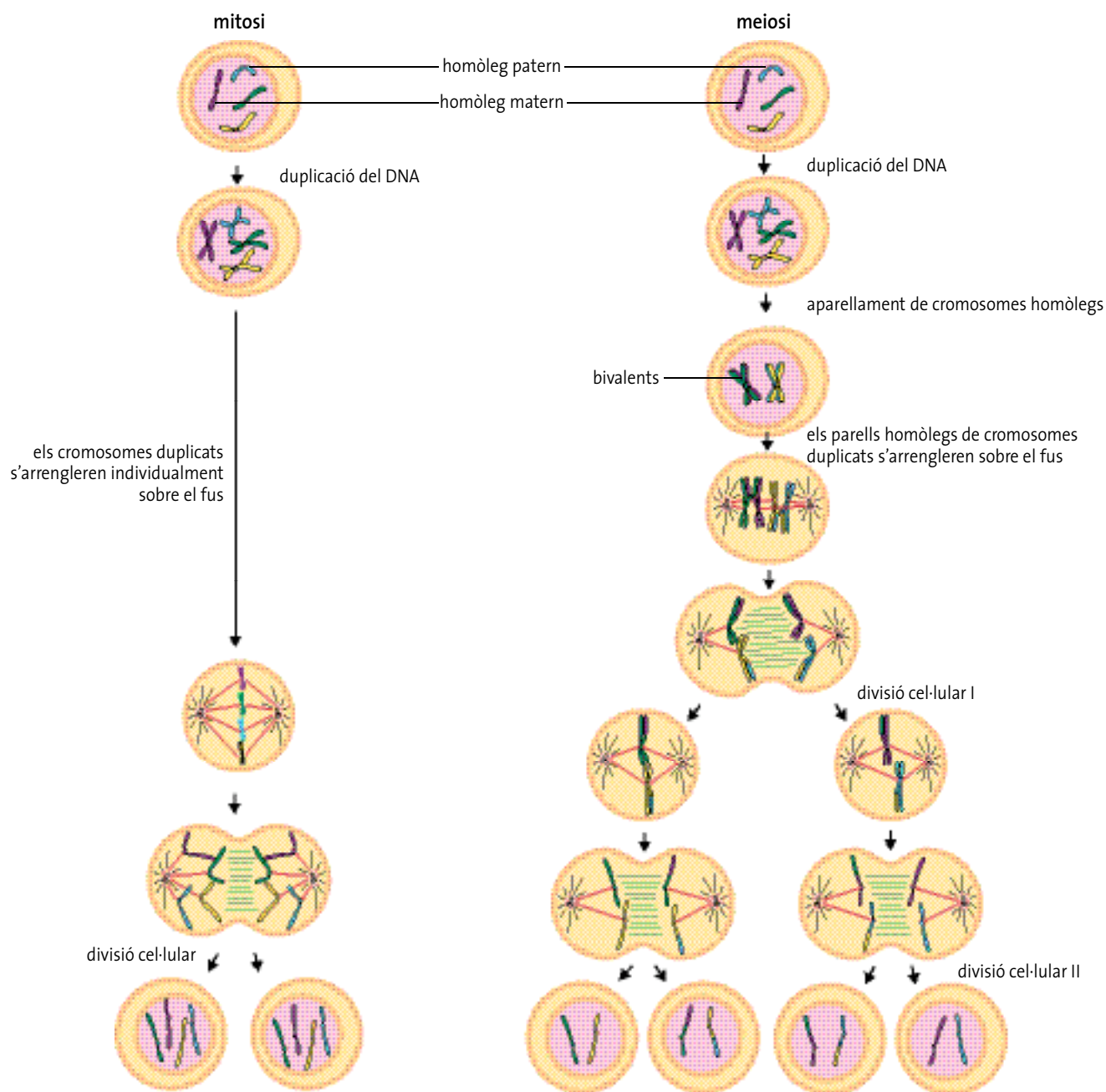


Figura 30. Comparació entre les divisions mitòtica i meiótica. A partir d'una cèl·lula diploide, la mitosi dóna lloc a dues cèl·lules diploides, i la meiosi, a quatre cèl·lules haploides (en animals, gàmetes).

► Centrosoma i centríols

El centrosoma és el principal centre organitzador de microtúbuls de les cèl·lules animals (vegeu l'apartat 17). Està format per un parell de **centríols** (disposats perpendicularment entre si).

- Durant la interfase els centríols se separen i es dupliquen. Quan s'inicia la mitosi, el complex s'escindeix en dos i cada nou parell de centríols comença a irradiar un conjunt de microtúbuls radials anomenat **àster**.
- Els microtúbuls s'allarguen i, així, els dos àsters se separen per sobre de la superfície nuclear i formen el fus mitòtic bipolar. Quan l'embolcall nuclear es trenca, els microtúbuls del fus es posen en contacte amb els cromosomes.

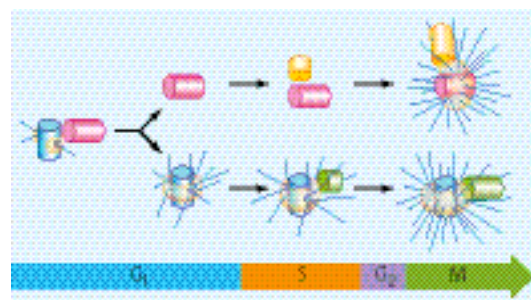


Figura 31. Replicació dels centríols durant les fases del cicle cel·lular.