

8 - EL CICLO CELULAR

-Un ser humano tiene unas 30.000.000.000.000 células (¡27 de los 30 billones son glóbulos rojos!) y cada minuto mueren (y se reemplazan) unos 300.000.000 → Es necesaria la división celular para alcanzar la pluricelularidad desde el cigoto y para reparar y renovar tejidos. Además, la división es la forma de reproducción de los organismos unicelulares.

Se calcula que tenemos unos 38 billones de bacterias en el colon, que pesan unos 200 g

1. EL CICLO CELULAR

-Secuencia ordenada de sucesos que tienen lugar entre una división y la siguiente, desde que se origina una célula por división de otra anterior hasta que se divide en dos células hijas.



1.1. LA INTERFASE

-Estado de la célula cuando no se está dividiendo y que transcurre entre dos divisiones.

-En esta fase la célula crece y realiza sus funciones propias y, si se va a dividir, replicará su material genético. Comprende tres etapas sucesivas:

G₁ → S → G₂

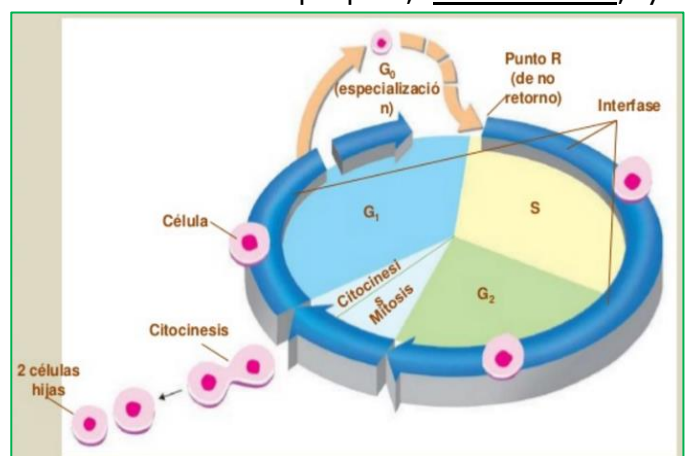
A. FASE G₁- Gap 1

-Comienza en cada célula hija resultante de la mitosis anterior, produciéndose crecimiento celular: síntesis de proteínas, aumento del número de orgánulos y estructuras citoplasmáticas y del volumen del citoplasma. **La célula no se divide ni se prepara para dividirse** y tiene **una sola copia de ADN**.

-La mayoría de células de un organismo pluricelular adulto no se dividen constantemente, detienen su ciclo -temporal o permanentemente- en G₁, y permanecen indefinidamente realizando sus funciones propias, sin dividirse, ya que no se necesitan nuevas células. Se dice entonces que la célula está en fase **G₀ (quiescencia)**. Pasado el tiempo, la célula podrá **1)** dividirse o **2)** permanecer en G₀ hasta su muerte.

1: Cuando se necesiten nuevas células, se volverá a la fase G₁ para seguir el ciclo y dividirse.

2: G₀ es permanente en neuronas, glóbulos rojos y células musculares esqueléticas, que se regeneran a partir de células madre, indiferenciadas, que permanecen en el tejido (o en otras zonas, como la médula ósea en el caso de los glóbulos rojos). A veces, en algunas células, tiene lugar una fase llamada senescencia: fase de envejecimiento desencadenada por la célula (una G₀ permanente) para impedir el retorno a G₁



y que la célula no se divida y, así, evitar que las secuencias defectuosas de ADN se transmitan a generaciones celulares posteriores.

-Las células epiteliales se dividen continuamente, y raramente entran en G_0 .

-En G_1 hay un punto de control en el que se toma la decisión irreversible de pasar a la fase S solo si se cumplen ciertas condiciones (p. ej. presencia de nutrientes): el punto R o **punto de restricción o de no retorno**, al final de G_1 .

B. FASE S - Síntesis

-Se produce la **replicación del ADN** nuclear. Se duplica el material genético y se sintetizan también nuevas histonas, proteínas integrantes de los nucleosomas. También se duplican los centriolos.

-Cada cromosoma estará formado ahora por dos cromátidas *hermanas* idénticas unidas por el centrómero y serán visibles como tales durante la mitosis.

-Proceso estrictamente regulado, ya que debe ser preciso para mantener la cantidad exacta de material genético.

-Tienen especial importancia aquí los sistemas de reparación del ADN, pues ocurren en este período muchas de las mutaciones.

C. FASE G_2 - Gap 2

-Período posterior a la fase S de replicación del ADN, e inmediatamente anterior a la mitosis y en el que se produce **crecimiento celular**.

-**La célula se prepara para la mitosis:** Alcanza el tamaño adecuado y se verifica que el ADN está completamente replicado.

1.2. LA DIVISIÓN CELULAR

-**División celular:** Fase en la que ocurre la división del núcleo -Mitosis / Cariocinesis- y la división del citoplasma -Citocinesis-.

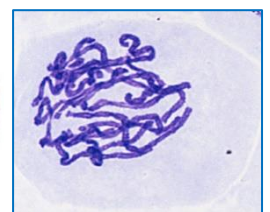
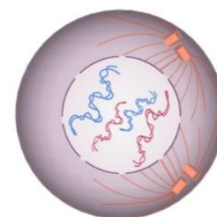


A. MITOSIS O CARIOCINESIS: Reparto del material genético doble resultante de la fase S, en dos núcleos. El ADN se condensa en cromosomas para asegurar su reparto equitativo. Proceso continuo que se divide en 4 fases para su estudio y comprensión.

1. Profase

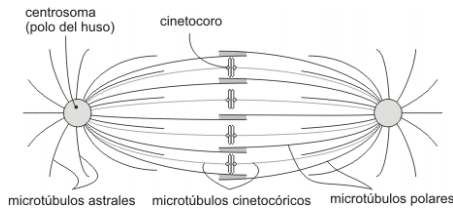
-**Condensación del ADN (cromatina) para formar cromosomas**, que se empiezan a observar como unidades dobles, de dos cromátidas unidas por el centrómero.

-**Desorganización de la membrana nuclear y del nucleolo.**



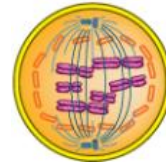
-Aparición de los cinetócoros sobre el centrómero de los cromosomas.

-**Migración de los centrosomas** hacia polos opuestos de la célula y **formación del huso mitótico** por proyección de microtúbulos desde cada centrosoma. Se forman así las fibras del áster alrededor de cada centrosoma y las fibras continuas del huso mitótico, que pueden anclar cromosomas (fibras cinetocóricas o cromosómicas) o enlazar con fibras procedentes del centrosoma opuesto (fibras polares). En las células vegetales no hay centriolos, pero sí huso mitótico (con *forma de tonel*), originado a partir de *centros organizadores de microtúbulos* (recordemos que el *COMT* constituye el material a partir del cual se organizan los microtúbulos del citoesqueleto en las células vegetales).



-Los microtúbulos van anclándose a los cinetócoros y van desplazando a los cromosomas hacia el ecuador de la célula.

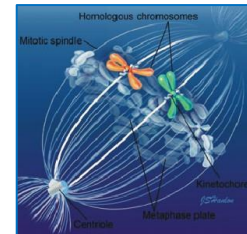
-**Prometáfase:** A veces se considera esta fase intermedia entre la profase y la metafase, en la que los cromosomas están desplazándose hacia el centro →



2. Metafase

-**Los cromosomas alcanzan el plano ecuatorial** de la célula, formando la **placa ecuatorial o metafásica**.

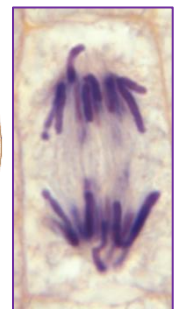
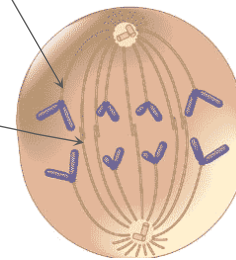
-**Máximo grado de condensación de los cromosomas.**



3. Anafase

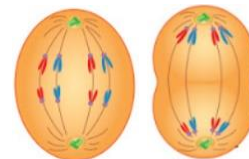
-Las proteínas que mantienen unidas las dos cromátidas de cada cromosoma, a la altura del centrómero, se desintegran y las fibras cromosómicas del huso se acortan (al despolimerizarse por la parte del centrosoma), lo que provoca la **separación de las cromátidas** (ahora llamadas cromosomas).

- Los microtúbulos polares se alargan, empujando a los centrosomas (y a las cromátidas que tiene asociadas cada centrosoma) hacia los polos opuestos de la célula (y estirándola).



-Como resultado de todo lo anterior, se separan **dos juegos de cromátidas** completos (e idénticos) y **se están desplazando hacia polos opuestos**.

-Pueden diferenciarse una **anafase temprana** y una **anafase tardía** →



4. Telofase

-Los microtúbulos polares continúan estirando la célula.

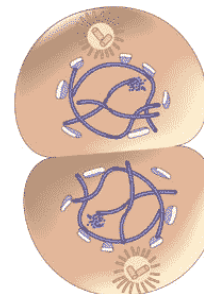
-**Los dos juegos de cromátidas** (cromosomas hijos) **están situados en los polos**.

Reversión de los procesos de la profase:

-**Descondensación de los cromosomas** a cromatina (ya no se identifican cromosomas individualizados).

-**Desorganización del huso mitótico.**

-**Reorganización de la membrana nuclear** (por extensión del RE) y **el nucléolo** en cada juego de cromosomas, de modo que la célula tiene ahora dos núcleos nuevos.

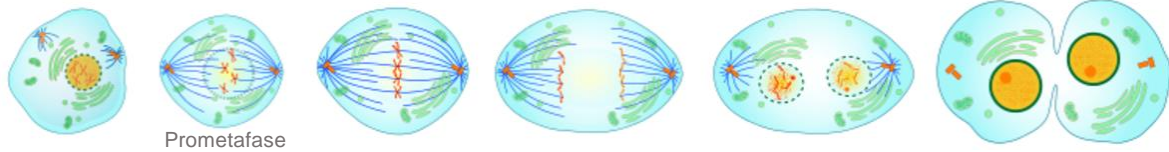
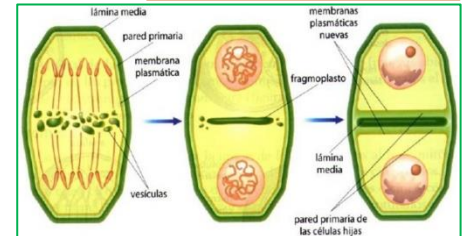


B. CITOCINESIS: Suele solaparse con la mitosis y comenzar ya durante la telofase.

-Células animales: Se produce **por estrangulamiento** mediante un **anillo contráctil** de **actina** (y miosina) situado bajo la membrana plasmática en la zona ecuatorial que, al contraerse, estrangula el citoplasma y acabará seccionando la célula en dos células hijas.

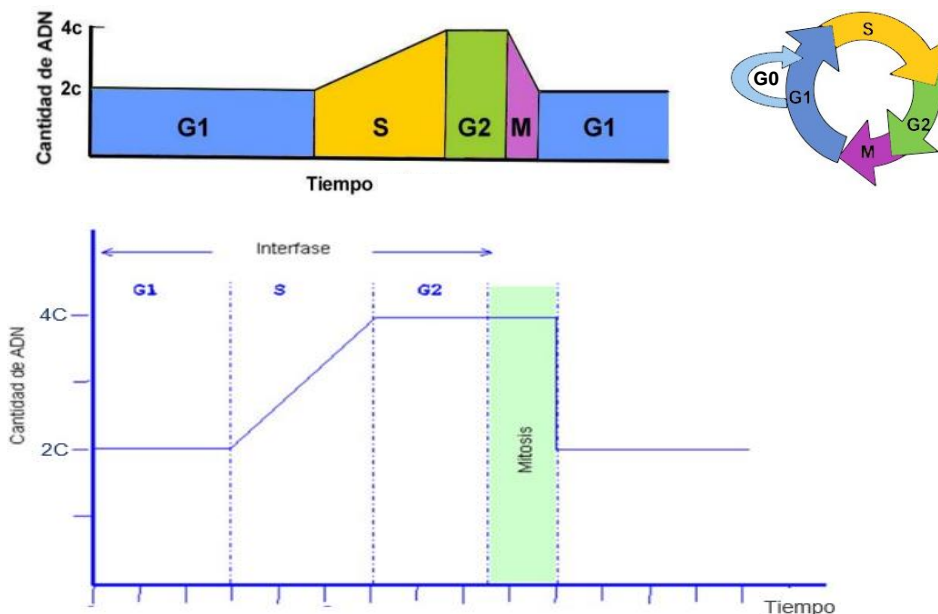


-Células vegetales: A partir de vesículas del aparato de Golgi se forma el **fragmoplasto** en la zona ecuatorial, un tabique que formará una **pared celular** que acabará separando los dos núcleos, haciendo efectiva la división celular.



VARIACIÓN DE LA CANTIDAD DE ADN NUCLEAR EN UN CICLO CELULAR

La cantidad de ADN en una célula varía, como acabamos de ver, a lo largo de las distintas fases del ciclo celular, lo que se puede representar mediante una gráfica.

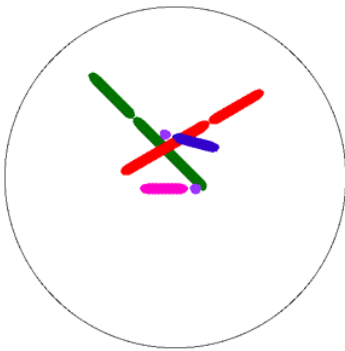


2. LA MEIOSIS

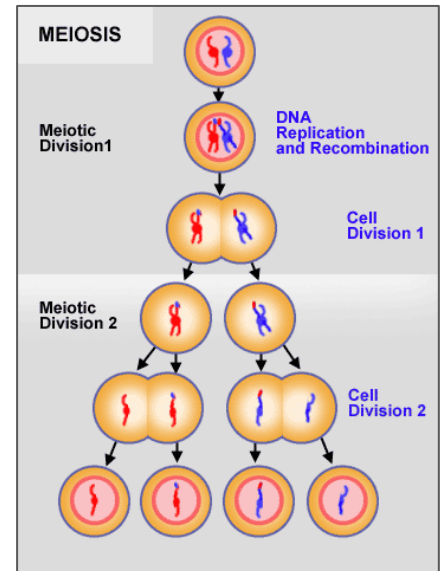
- Tipo de división celular en la que una célula diploide $-2n-$ (con $2n$ cromosomas) sufre dos divisiones sucesivas **para generar células haploides** $-n-$ (n cromosomas), con la mitad de cromosomas que la célula originaria. Relacionada con la reproducción sexual, ocurre (generalmente) en las células germinales para originar los gametos.
- Se forman por meiosis los **óvulos** y **espermatozoides** de los animales y las **megasporas** (darán lugar a óvulos) y **microsporas** (darán lugar a gametos σ) de las plantas.

FASES DE LA MEIOSIS

-Hay dos divisiones celulares consecutivas: **meiosis I** o primera división meiótica y **meiosis II** o segunda división meiótica, sin duplicación de ADN entre ellas.



[Descargar animación](#)



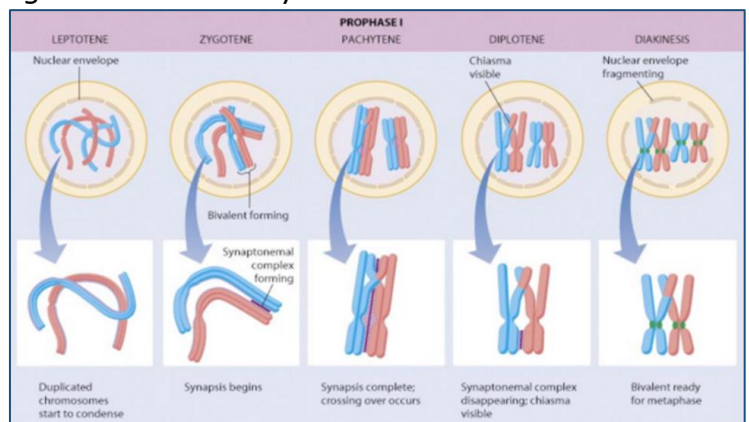
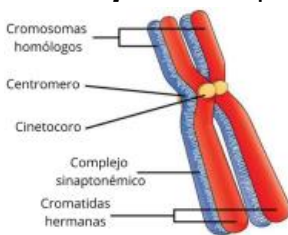
A. MEIOSIS I: Fase larga y compleja en la que ocurren tres fenómenos esenciales:

- Apareamiento de cromosomas homólogos -sinapsis-**.
- Recombinación genética (intercambio entre homólogos)**.
- Segregación (separación) de cromosomas homólogos**.

1. Profase I. Etapa compleja que se divide en 5 subetapas.

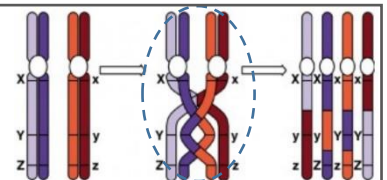
-**Leptoteno:** Los cromosomas se empiezan a condensar y a observarse constituidos por dos cromátidas.

-**Zigoteno:** Los cromosomas homólogos se acercan y se van uniendo entre sí longitudinalmente, mediante una estructura proteica a modo de cremallera llamada **complejo sinaptonémico**, hasta que se completa el **apareamiento** o **sinapsis** del par de cromosomas homólogos, que acaba formando un **bivalente** o **tétrada** (cuatro cromátidas). Los dos cinetócoros de cada cromosoma se unen formando uno solo.



-**Paquiteno:** Se produce, en distintos puntos del bivalente, el **sobrecruzamiento**: intercambio de segmentos de ADN entre cromátidas homólogas no hermanas → el resultado es la **recombinación genética** del material hereditario: los cromosomas son ahora diferentes a los originales.

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/genetica1/imagenes/meiosis/recombinacion.gif>



-**Diploteno:** Los cromosomas homólogos empiezan a separarse al ir disgregándose el complejo sinaptonémico, observándose puntos de unión -**quiasmas**- donde ocurrieron los sobrecruzamientos.

Aquí se detiene la meiosis en la formación de los óvulos humanos, en el 7º mes del feto, para continuar en cada óvulo en el momento de la futura ovulación.

-Diacinesis: Los quiasmas se van desplazando hasta los extremos de los cromosomas. Como en la profase de la mitosis, la **membrana nuclear se desorganiza** hasta desaparecer (al igual que el nucleolo), se forma el huso acromático y los **bivalentes se dirigen al plano ecuatorial**.

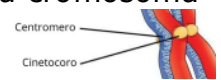
2. Metafase I

-Máximo grado de condensación de los cromosomas.

-Bivalentes en la placa ecuatorial.

-Se produce la coorientación: en cada bivalente, el centrómero de cada cromosoma (en realidad, *los cinetócoros de las dos cromátidas hermanas* -de ahí el concepto de coorientación-) se orienta hacia uno de los polos, al asociarse a las fibras cinetocóricas de uno de los centrosomas. El resultado es que, en cada bivalente, cada uno de los cromosomas homólogos se orienta (e irá) al azar hacia un polo u otro, independientemente de si es paterno o materno y de la orientación de los demás bivalentes.

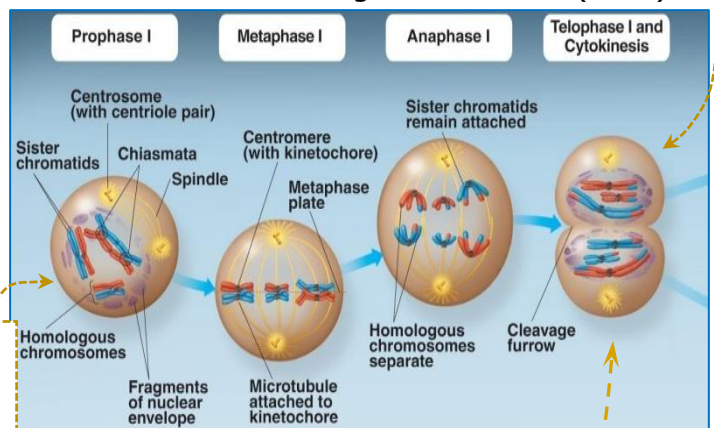
Célula final de la meiosis I, n: con 1 juego de 3 cromosomas (dobles: con dos cromátidas cada uno)



3. Anafase I

-Cada cromosoma de cada bivalente migra, al azar, hacia un polo, formándose un juego haploide a cada lado.

Célula inicial, 2n: con 2 juegos de 3 = 6 cromosomas (con dos cromátidas cada uno por la replicación previa del ADN)



4. Telofase I

-Cada uno de los cromosomas homólogos, formados por dos cromátidas, se encuentra en uno de los polos, de forma que en estos hay un juego haploide completo con la mitad de cromosomas que en el núcleo original. Una nueva membrana nuclear rodea cada juego y desaparece el huso acromático.

La primera división meiótica ha terminado. Ya tenemos dos células haploides -n-, con la mitad de cromosomas (aunque aún sean dobles), y cuyas cromátidas hermanas son ahora diferentes. El periodo entre las dos divisiones sucesivas es muy breve y durante él pueden descondensarse los cromosomas y producirse citocinesis. No hay ahora replicación del ADN (aunque sí de los centrosomas).

B. MEIOSIS II: Fase similar a la mitosis en la que cada cromátida de cada cromosoma (ahora diferentes por la recombinación genética) migra hacia un polo, obteniéndose, de cada célula resultante de la meiosis I, dos células hijas haploides -n- (ahora con cromosomas sencillos, de una sola cromátida).

1. Profase II

-Se desorganiza la membrana nuclear y se forma el huso entre los centrosomas, que se desplazan hacia los polos.

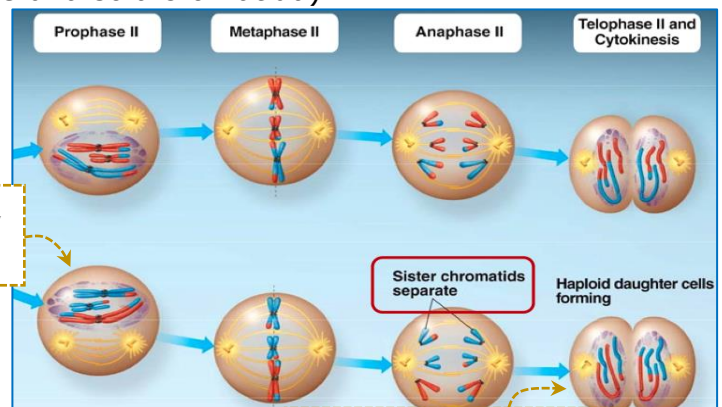
2. Metafase II

-Cromosomas en la placa ecuatorial.

3. Anafase II

-Las cromátidas hermanas se separan y se desplazan hacia polos opuestos, como en la mitosis.

Célula inicial de la meiosis II, con 3 cromosomas dobles (dos cromátidas cada uno)



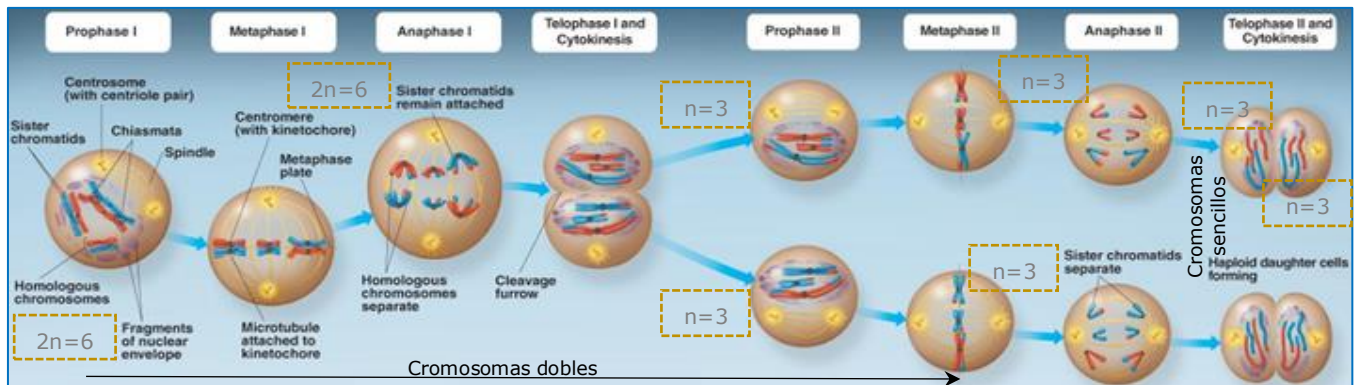
Célula final de la meiosis II, con 3 cromosomas sencillos (una cromátida cada uno)

4. Telofase II

-Los cromosomas se descondensan. Se reorganiza la membrana nuclear alrededor de cada juego cromosómico y desaparece el huso.

5. Citocinesis

-Se obtienen cuatro células hijas con n cromosomas en cada núcleo. En vegetales permanecen unidas formando las *tétradas*



3. SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE MITOSIS Y MEIOSIS

3.1. SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA MITOSIS

-La mitosis tiene como objeto la **replicación celular, generación de dos células genéticamente idénticas** a partir de una progenitora. Para ello se produce la replicación del ADN y su reparto a las células hijas.

-La división celular mitótica es necesaria cuando se necesita aumentar el número de células en los organismos pluricelulares -desarrollo del embrión a partir del cigoto, crecimiento, regeneración de tejidos- y para la reproducción asexual de los eucariotas unicelulares. La sufren las *células somáticas* de los pluricelulares (las que no generan gametos).

3.2. SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA MEIOSIS

-La meiosis la sufren las *células germinales* (las que originan gametos) y tiene importancia biológica en dos aspectos:

1. **Reduce** -cuantitativamente- **la información genética a la mitad**, de forma que con la fecundación se restaure la dotación cromosómica de la especie (y no se duplique).
2. **Aumenta la variabilidad genética** de las poblaciones, como efecto de la recombinación genética y de la segregación aleatoria de los cromosomas homólogos, haciendo que los individuos sean genéticamente diferentes. Sobre esa variabilidad genética actúa la selección natural, que impulsa a la evolución.

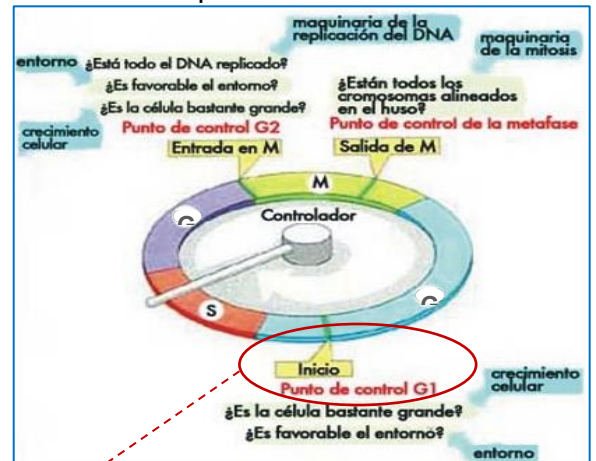
3.3. RESUMEN DE DIFERENCIAS MITOSIS/MEIOSIS

MITOSIS	MEIOSIS
La sufren las <i>células somáticas</i> .	La sufren las <i>células germinales</i> .
División conservacional: Células hijas con el mismo número de cromosomas y la misma cantidad de ADN que la célula madre.	División reduccional: Células hijas haploides, con la mitad de cromosomas y de cantidad de ADN que la célula madre.
Los cromosomas no varían su información genética.	Se produce <u>recombinación</u> entre homólogos y <u>variabilidad genética</u> .
<u>Se separan cromátidas</u> en la anafase.	<u>Se separan cromosomas</u> en la anafase I y <u>cromátidas</u> en la anafase II.

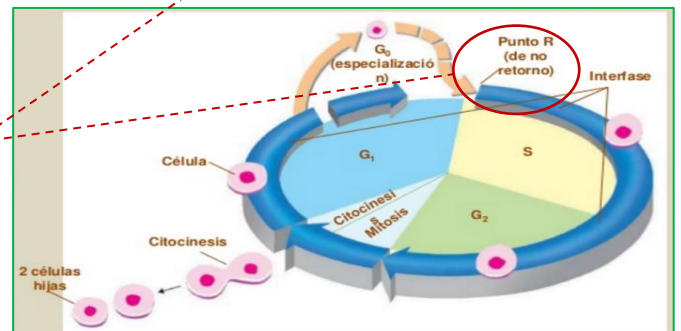
4. EL CONTROL DEL CICLO CELULAR

-El ciclo celular está controlado con precisión para garantizar que se produzca su detención o su avance cuando sea necesario y que tenga lugar en el orden adecuado. El descontrol en el ciclo celular puede llevar a que las células entren en mitosis continuas, dando lugar a una masa de células denominada tumor.

-Intervienen diversas señales, internas (sobre el estado de la propia célula) y externas (sobre su entorno). Para pasar de una fase a otra se comprueban esas señales en distintos **puntos de control**, provocando la progresión del ciclo, si las señales son favorables, o la detención, si las señales indican que hay que esperar, detener el ciclo o incluso provocar la muerte celular. Estas señales pueden ser el tamaño celular, la integridad del ADN, la posición de los cromosomas, la presencia de nutrientes suficientes o factores de crecimiento proteicos. Con esta regulación se garantiza que las células se dividan correctamente, en condiciones favorables y cuando sea necesario. En caso contrario, o bien se detendrá el proceso en espera de que las condiciones se cumplan (p. ej. que se termine de duplicar el ADN, o que acabe de llegar un cromosoma a la placa metafásica o que se realicen reparaciones en el ADN) o bien, si se detecta un daño irreparable en el ADN, se desencadenará la *apoptosis*, la muerte celular programada.



-Un punto especialmente importante es el punto R o "**punto de no retorno**". Cuando la célula "decide" continuar el ciclo en G₁ para dividirse, llega, al final de G₁, al punto R y, una vez que pasa ese punto de control (porque cumple sus condiciones -tamaño, nutrientes, integridad del ADN...), la célula pasa a la fase S y avanzará irreversiblemente hacia la división, sin vuelta atrás: avanzará a la fase S, a la G₂ y entrará en mitosis, sean cuales sean las condiciones, internas y externas.



<https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cell-communication-and-cell-cycle/regulation-of-cell-cycle/a/cell-cycle-checkpoints-article>

5. EL CÁNCER Y EL CICLO CELULAR

- Un tumor es cualquier masa o bulto producido por aumento en el número de células.
- Un cáncer es un tumor maligno, que se caracteriza porque sus células:
 - Se multiplican rápidamente y sin control.
 - Invaden y dañan tejidos adyacentes.
 - Pueden migrar a tejidos u órganos distantes por el flujo sanguíneo o linfático (*metástasis*).
- El cáncer se produce por alteraciones del material genético, mutaciones, que provocan una modificación del ciclo celular normal, fallos en sus puntos de control, lo que lleva al descontrol de la división celular, a células que entran en mitosis continuas, dando lugar a una masa de células denominada tumor. Esas mutaciones

pueden ser debidas a factores físicos, químicos, virus (virus del papiloma humano), a errores no corregidos en la replicación o pueden ser heredadas.

-Cáncer es en realidad el nombre con el que se denomina a un conjunto de enfermedades relacionadas, en las que tiene lugar la división descontrolada de las células.

5.1. CAUSAS MÁS IMPORTANTES

-Los agentes que pueden provocar cáncer son químicos, físicos y biológicos.

-**Químicos:** Hay sustancias mutágenas carcinógenas, que aumentan el riesgo de padecer cáncer, como el alcohol, componentes del tabaco, las grasas saturadas, nitrosaminas (de los embutidos), sal, benzopirenos (de las partes tostadas de los alimentos y ahumados) y sustancias que aparecen en los aceites usados en sucesivas frituras.

-**Físicos:** Sobre todo radiaciones, como la radiación ultravioleta de la luz solar, que causa cáncer de piel.

-**Biológicos:** Como el virus del papiloma humano (VPH), que provoca cáncer de cuello de útero, vagina, pene y orofaringe; el de la hepatitis B (VHB), que favorece el cáncer de hígado; o la bacteria *Helicobacter pylori*, que causa cáncer de estómago.

5.2. HÁBITOS DE VIDA SALUDABLES

-Aunque algunos cánceres tienen un componente hereditario, es posible reducir el riesgo siguiendo una serie de hábitos saludables. Estos se basarán, sobre todo, en evitar la exposición a los agentes mutágenos que pueden provocarlo.

1. **Evitar el consumo de tabaco.** Provoca cáncer de pulmón, pero también de boca, faringe, laringe, esófago, estómago o vejiga.

2. **Evitar el consumo de alcohol.** Provoca cáncer de boca, faringe, laringe, hígado, esófago o estómago.

3. **Limitar el consumo de grasas saturadas.**

4. **Limitar alimentos tostados o ahumados y embutidos.**

5. **Consumir alimentos ricos en fibra vegetal.** Disminuye el tiempo de contacto de las sustancias carcinógenas con la mucosa intestinal → reduce el riesgo de cáncer de colon.

6. **Reemplazar con frecuencia los aceites para freír.**

7. **Protegerse adecuadamente ante la luz solar.**

8. **Vacunarse contra virus como el VPH.**



6. LA APOPTOSIS

-Mecanismo de autodestrucción, de muerte celular programada, llevado a cabo cuando la célula ha completado su periodo de vida normal o cuando ha sufrido algún daño irreversible importante. Se produce mediante autólisis por ruptura de lisosomas. Con ello se protege al organismo de la degradación progresiva que sufriría el material genético, previniendo así, por ejemplo, la aparición de tumores. Interviene también en ciertos aspectos del desarrollo (reabsorción de la cola del renacuajo, eliminación de las membranas interdigitales en la formación de los dedos en el feto, eliminación del endometrio en la menstruación).

-Se produce ante estímulos extra o intracelulares (señales hormonales, mitosis incompleta, daños irreparables en el ADN...).

EL CICLO CELULAR



-INTERFASE-

La célula no se está dividiendo y realiza sus funciones propias.
Si se va a dividir, replicará su material genético al final de este periodo.

-FASE G₁ - Gap 1: Comienza en cada célula resultante de la mitosis anterior.

· La célula no se divide ni se prepara para dividirse y tiene una sola copia de ADN.

· Crecimiento celular.

· La célula permanece indefinidamente en este periodo realizando sus funciones → **Fase G₀**

División ← G₁ → **quiescencia**
→ **Muerte**

-Si se necesitan nuevas células, vuelve a la fase G₁ para seguir el ciclo y dividirse.

-G₀ es permanente en células que no se dividen -neuronas, glóbulos rojos, células musculares esqueléticas- y se forman a partir de células madre, indiferenciadas. Permanecen en G₀ hasta su muerte.

· Las células epiteliales se dividen continuamente sin entrar nunca en G₀.

· **Punto R, punto de restricción o de no retorno:** punto de control en el que se toma la decisión irreversible de pasar a la fase S (ciertas condiciones como presencia de nutrientes).

-FASE S - Síntesis:

· Replicación del ADN nuclear (y de las histonas y los centriolos) → cromosomas de dos cromátidas.

-FASE G₂ - Gap 2:

· Preparación para la mitosis: crecimiento - verificación de ADN completamente replicado.

-DIVISIÓN CELULAR-

División del núcleo -mitosis/cariocinesis- y división del citoplasma -citocinesis-

-MITOSIS-

Reparto del material genético doble resultante de la fase S, en dos núcleos.

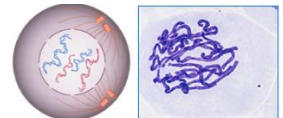
1. PROFASE

· Condensación de la cromatina para formar cromosomas de dos cromátidas.

· Desorganización de la membrana nuclear y del nucleolo.

· Centrosomas a polos opuestos. Formación del huso mitótico → fibras cinetocóricas y fibras polares.

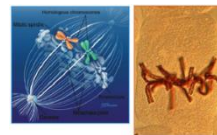
· Microtúbulos del huso van anclándose a los cinetócoros y desplazando a los cromosomas al ecuador de la célula.



2. METAFASE

· Cromosomas en plano ecuatorial → placa metafásica.

· Máximo grado de condensación de los cromosomas.

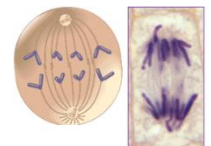


3. ANAFASE

· Separación de las cromátidas por desintegración de las proteínas del centrómero y acortamiento de las fibras cinetocóricas del huso.

· Estiramiento de la célula por alargamiento de las fibras polares.

· Se desplazan dos juegos de cromátidas idénticos hacia polos opuestos.



4. TELOFASE

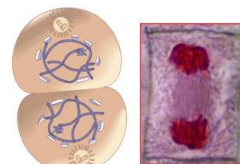
· Juegos de cromátidas en los polos.

· Reversión de los procesos de la profase:

· Descondensación de los cromosomas a cromatina.

· Desorganización del huso mitótico.

· Reorganización de membrana nuclear y nucleolo.

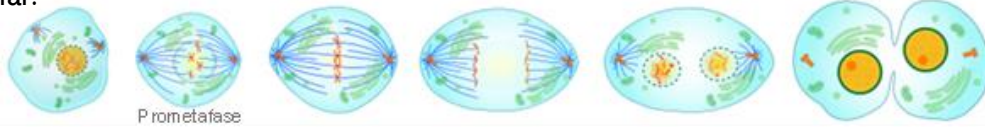


-CITOCINESIS-

División del citoplasma en dos células.

-**Células animales:** Estrangulamiento por un **anillo contráctil de actina**.

-**Células vegetales:** **Frangoplasto**, tabique a partir de vesículas del aparato de Golgi, que originará una pared celular.



-MEIOSIS-

Una célula diploide sufre dos divisiones sucesivas (sin duplicación de ADN entre ellas) para generar células haploides.

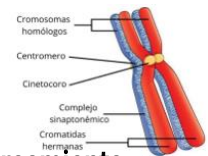
-MEIOSIS I

3 FENÓMENOS ESENCIALES

- **Apareamiento de cromosomas homólogos -sinapsis-.**
- **Recombinación genética (intercambio entre homólogos).**
- **Segregación (separación) de cromosomas homólogos.**

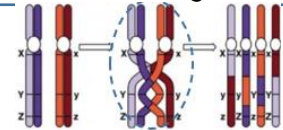
1. PROFASE I

- **Leptoteno:** Cromosomas condensándose.
- **Zigoteno:** Cromosomas homólogos unidos por el **complejo sinaptonémico** → **apareamiento o sinapsis** → **bivalentes o tétradas**.



- **Paquiteno:** **Sobrecruzamiento** (intercambio de segmentos de ADN) entre cromátidas homólogas no hermanas → **recombinación genética**: los cromosomas son ahora diferentes a los originales.

- **Diploteno:** **Separación de cromosomas homólogos**, unidos por puntos, **quiasmas**.



- **Diacinesis:** Desplazamiento de los quiasmas hacia los extremos.
 - Desorganización de la membrana nuclear y el nucleolo.
 - Formación del huso acromático.
 - Bivalentes desplazándose hacia el plano ecuatorial.

2. METAFASE I

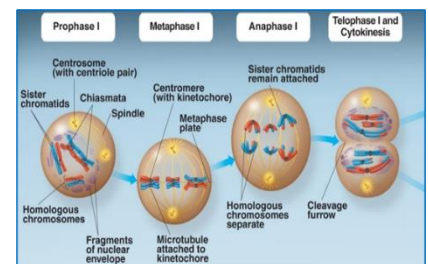
- Bivalentes en la placa ecuatorial.
- Máxima condensación de los cromosomas.
- **Coorientación:** Los centrómeros de los cromosomas de cada bivalente se orientan, al azar, hacia polos opuestos.

3. ANAFASE I

- Cada cromosoma de cada bivalente migra, al azar, hacia un polo.

4. TELOFASE I

- Hay un juego haploide de cromosomas en cada polo.
- Se forma una membrana nuclear alrededor de cada juego cromosómico.
- Desaparece el huso acromático.



-**MEIOSIS II:** Se parte de cada célula originada en la meiosis I. Cada cromátida de cada cromosoma migra hacia un polo.

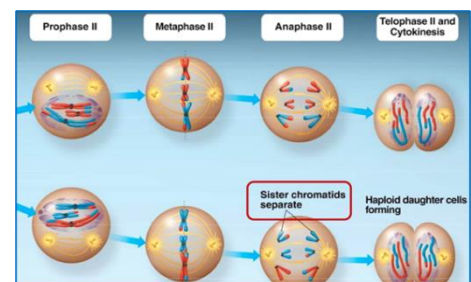
1. **PROFASE II:** Desorganización de la membrana nuclear y formación del huso.

2. **METAFASE II:** Cromosomas en la placa ecuatorial.

3. **ANAFASE II:** Separación de las cromátidas de cada cromosoma hacia polos opuestos.

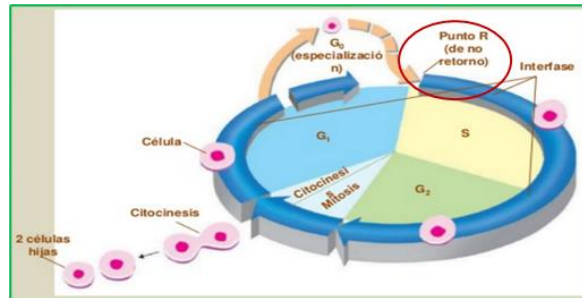
4. **TELOFASE II:** Un juego cromosómico en cada polo, con su membrana nuclear. Cromosomas se descondensan. Desaparece el huso.

5. **CITOCINESIS:** Se obtienen 4 células hijas con la mitad de cromosomas (n) de la original.



CONTROL DEL CICLO CELULAR

- Se comprueban señales en determinados **puntos de control** para decidir la progresión o la detención del ciclo.
- El **punto de no retorno** determina el paso de G₁ a S y el avance irreversible hacia la división.



CÁNCER Y CICLO CELULAR

- Tumor:** Cualquier masa producida por el aumento del número de células.
- Cáncer:** Tumor maligno, en el que las células se multiplican sin control, invaden tejidos adyacentes y pueden migrar a otros.
- El cáncer se produce porque se altera el ciclo celular al fallar los puntos de control y entrar las células en mitosis continuas, a causa de mutaciones.
- Los **agentes mutágenos** que pueden provocar cáncer pueden ser químicos (sustancias carcinógenas), físicos (radiaciones) o biológicos (virus).
- HÁBITOS SALUDABLES:** Aquellos que evitan la exposición a agentes mutágenos.
 - Evitar consumo de tabaco.
 - Evitar consumo de alcohol.
 - Limitar consumo de grasas saturadas.
 - Limitar alimentos tostados, ahumados y embutidos.
 - Consumir fibra vegetal.
 - Reemplazar aceites de freír.
 - Protegerse de la luz solar.
 - Vacunarse contra virus como el VPH.



Imagen microscópica de células en distintas etapas de su ciclo celular

