

TEMA 8 Núcleo



José Manuel Huertas Suárez

ÍNDICE de CONTENIDOS

1. El núcleo
2. El ciclo celular
3. La mitosis
4. La meiosis
5. Comparación entre mitosis y meiosis
6. Ciclo biológico.

CRITERIOS de EVALUACIÓN

- B.2.3. Analizar el ciclo celular y diferenciar sus fases.
- B.2.4. Distinguir los tipos de división celular y desarrollar los acontecimientos que ocurren en cada fase de los mismos.
- B.2.5. Argumentar la relación de la meiosis con la variabilidad genética de las especies.

Ciclo celular

"Proceso biológico"

Interfásico

"Es uno de los estadios del ciclo celular"

Mitosis

"De una célula salen dos células genéticamente iguales"

Meiosis

"De una célula salen 4 células diferentes genéticamente"

1 Núcleo

El núcleo es un orgánulo formado por:

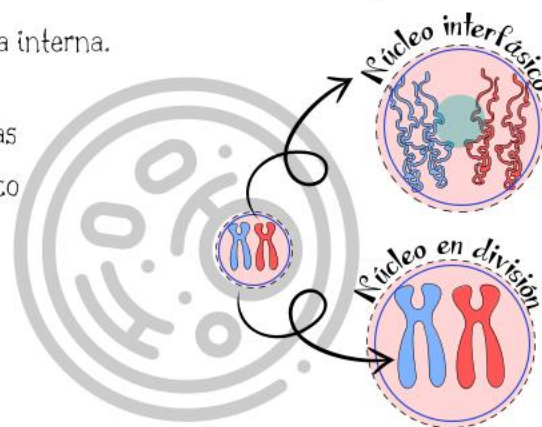
- **Envoltura nuclear** formada por una doble membrana; externa u otra interna.
- **Nucleoplasma** formado por un líquido viscoso que hay en el medio interno del núcleo, formado por agua, iones, nucleótidos, ARN y proteínas
- **Material genético** formado por cadenas de ácido desoxirribonucleico (ADN) en forma de cromatina dispersa o en forma de cromosoma.

Se encuentra en todas las células eucariotas, excepto en los eritrocitos maduros y en algunas células vegetales maduras.

Las funciones del núcleo son:

- (1) Repartir el material genético en los procesos de división celular y
- (2) Regular procesos bioquímicos, morfológicos y fisiológicos.

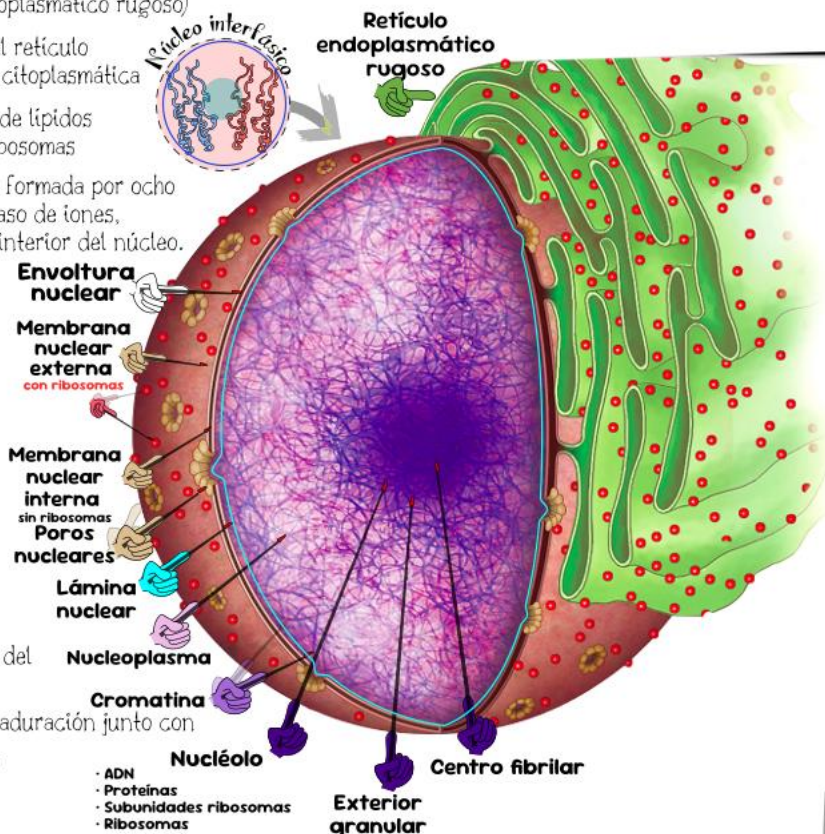
El aspecto del material genético cambia según la fase del ciclo celular: en interfase se encuentra desenrollado en forma de cromatina, mientras que durante la división se condensa formando los cromosomas.



1.1 Núcleo interfásico

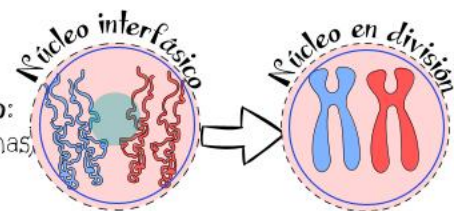
El **núcleo interfásico** es el aspecto del núcleo cuando no se está dividiendo. Se distinguen cinco componentes:

- **Envoltura nuclear**, delimita el contenido del núcleo y el citoplasma y está formado por dos membranas nucleares, separadas por un espacio perinuclear (equivale al lumen del retículo endoplasmático rugoso)
- **Membrana nuclear externa**, es la prolongación del retículo endoplasmático y lleva asociada ribosomas en la cara citoplasmática
- **Membrana nuclear interna**, es la segunda bicapa de lípidos que contiene proteínas exclusivas del núcleo y sin ribosomas
- **Miles de poros nucleares**. Cada poro nuclear está formada por ocho proteínas (nucleoproteínas) que comunica y regula el paso de iones, macromoléculas y ribosomas entre el citoplasma y el interior del núcleo.
- **Lámina nuclear**, red de filamentos de proteínas adheridas a la cara interna de la membrana nuclear interna. Ancla la cromatina y proporciona soporte mecánico al núcleo
- **Nucleoplasma**, disolución coloidal (= **disolvente** + **sóluto** es un **coloide**) en estado gel que contiene **agua**, **iones**, **nucleótidos**, **ARN** y **proteínas**.
- **Cromatina**, asociación de ADN y proteínas.
- **Nucléolo**, región esférica y densa, no delimitada por membrana, en la que distinguimos dos partes:
 - **Centro fibrilar**, constituido por ADN con los genes del ARNr; es donde comienza la transcripción.
 - **Exterior granular**, contiene ARNr en proceso de maduración junto con proteínas ribosómicas (subunidades prerribosómicas).



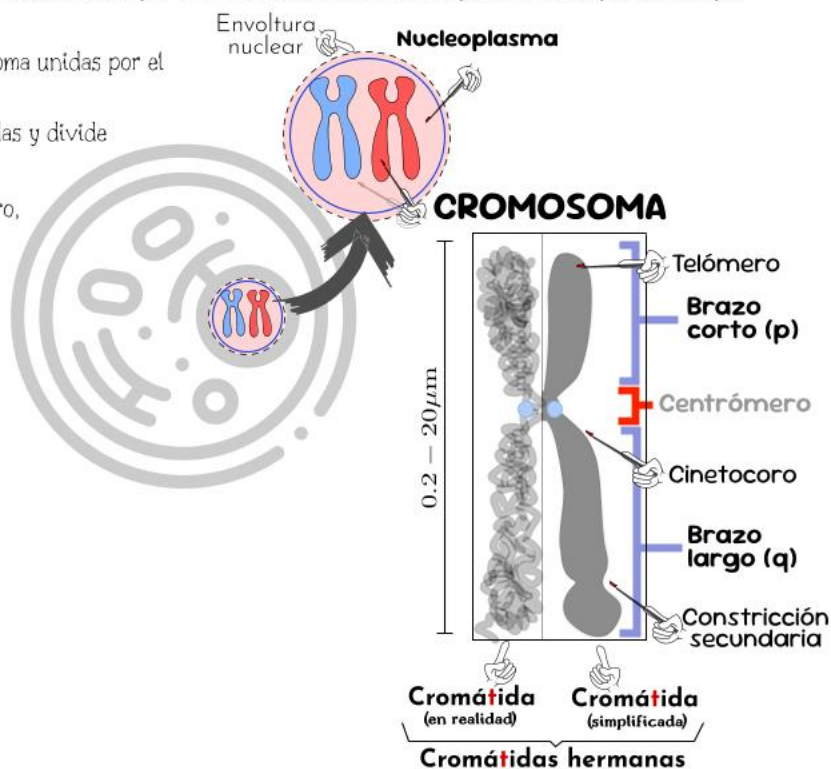
1.2 Núcleo en división

El **núcleo en división** es el aspecto del núcleo durante cuando **se está dividiendo**: la envoltura nuclear se fragmenta, el nucléolo desaparece y la **cromatina** (ADN+proteínas) se condensa en **cromosomas**.



Cromosoma, estructura formada por cromatina máximamente condensada (ADN+proteínas), que permite repartir el material genético entre las células hijas. Durante la división, cada cromosoma está formado por dos cromátidas hermanas, copias idénticas producidas por la replicación del ADN.

- ➔ **Cromátidas hermanas**: dos copias idénticas del cromosoma unidas por el centrómero; se separan durante la anafase.
- ➔ **Centrómero**: constricción primaria que une las cromátidas y divide el cromosoma en el brazo corto (p) y el brazo largo (q).
- ➔ **Cinetocoro**: estructura proteica situada en el centrómero, donde se anclan los microtúbulos del huso mitótico.
- ➔ **Telómeros**: extremos del cromosoma; protegen la información genética y aseguran la estabilidad del cromosoma.
- ➔ **Constricción secundaria y satélite**: regiones asociadas a los organizadores nucleolares (NOR), que contienen los genes del ARNr.



¿Cuántos cromosomas hay en las células?

Cada especie tiene un número de cromosomas determinado



Capra aegagrus hircus

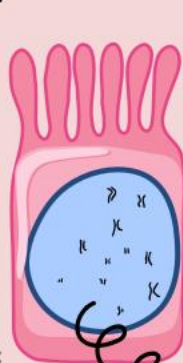
Homo sapiens

Ovis orientalis aries

Células somáticas

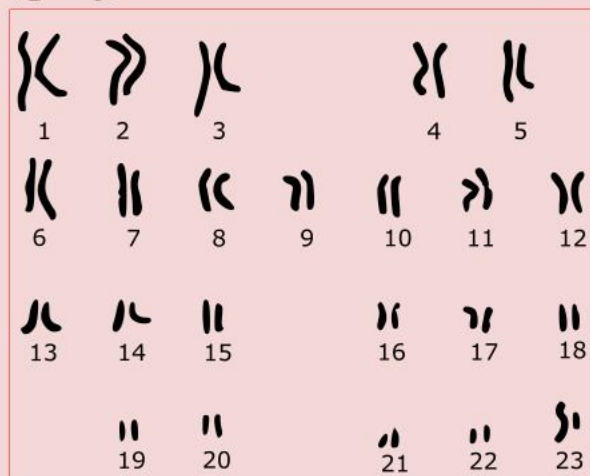


Células sexuales



Célula intestinal de un ser humano en fase de división celular

Cada especie tiene un cariotipo específico y único. Por ejemplo el ser humano tiene 46 cromosomas, que se agrupan en parejas; por tanto, tenemos 23 pares. Aquellos seres vivos cuyos cromosomas se agrupan en parejas reciben el nombre de organismos diploides y se denota como 2n.

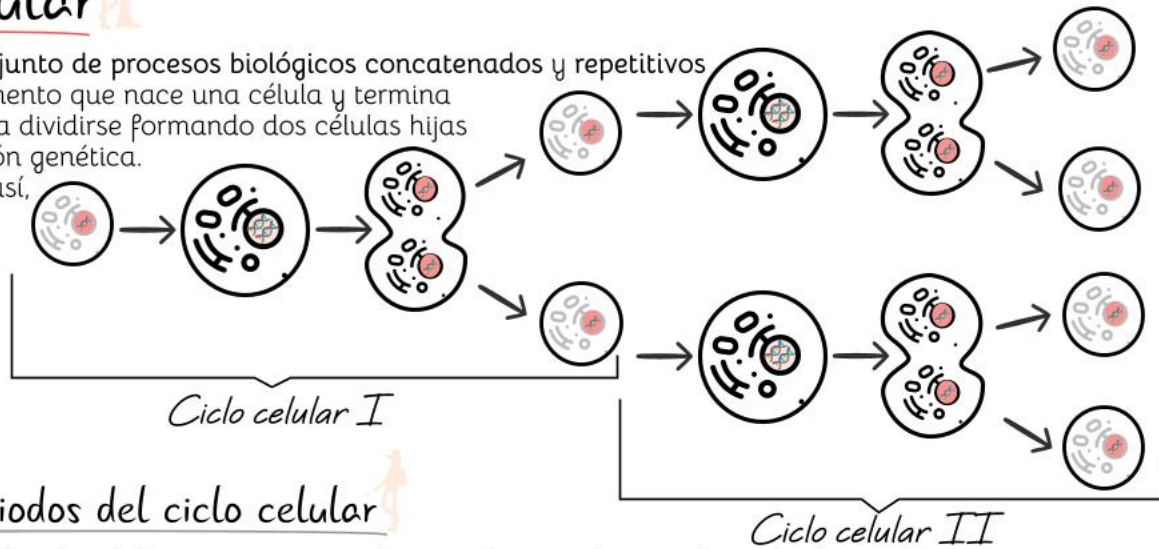


Jose Manuel Huertas Suárez



2 Ciclo celular

El ciclo celular es el conjunto de procesos biológicos concatenados y repetitivos que comienza en el momento que nace una célula y termina cuando la célula vuelve a dividirse formando dos células hijas con la misma información genética. Gráficamente quedaría así,

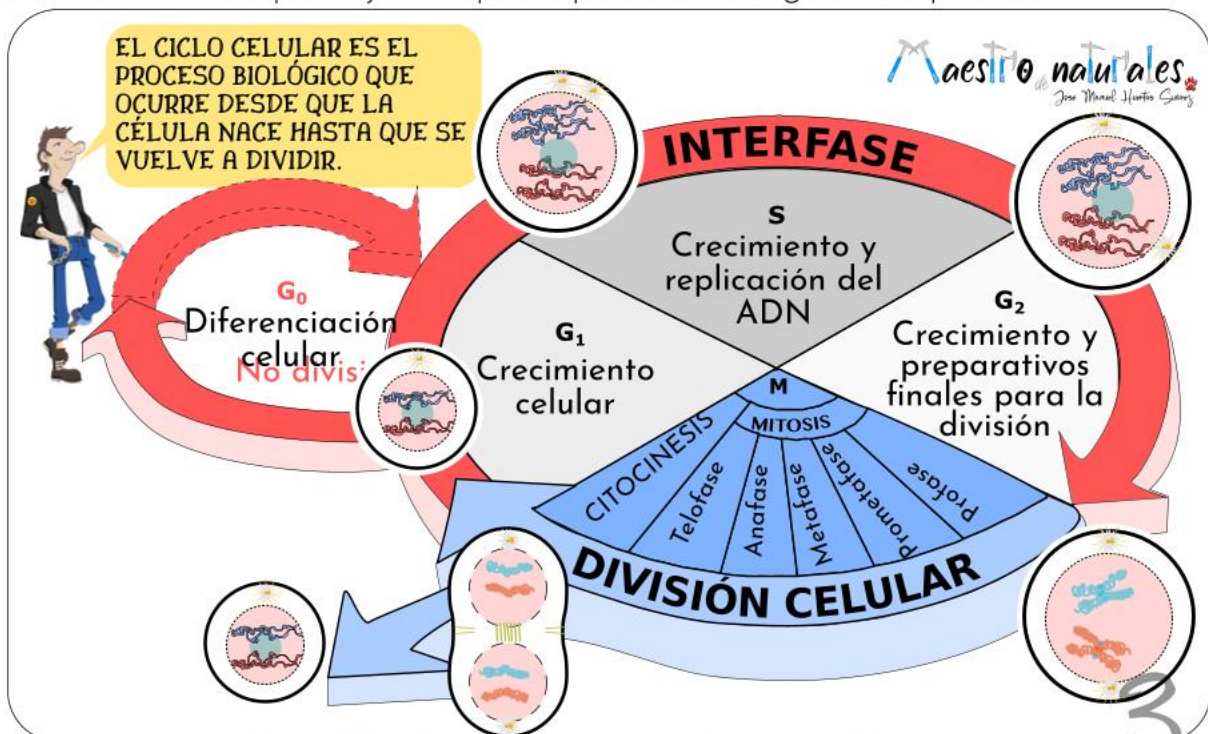


2.1 Fases y periodos del ciclo celular

Los procesos biológicos del ciclo celular se agrupan en dos periodos y cada periodo se dividen en fases que explican en detalle lo que ocurre en un momento en concreto de ese periodo:

- Periodo de interfase explica los procesos biológicos previos a la **no división** de la célula y presenta tres fases:
 - Fase de crecimiento 1 (gap 1 o fase G1),
 - Fase de replicación (síntesis o S),
 - Fase de crecimiento 2 (gap 2 o fase G2),
- Periodo de división celular o fase M (de división) se divide en dos etapas según lo que se divide de la célula: cariocinesis (se divide el núcleo) y citocinesis (se divide el citoplasma).
 - Etapa de división del núcleo o **cariocinesis** [del griego cario, núcleo y cinesis, división] es la división del núcleo y reparto del material genético. Se divide en 5 fases: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.
 - **Profase**, donde aparecen los cromosomas y comienza a sintetizarse huso mitótico
 - **Prometafase**, desaparece la envoltura nuclear y el huso mitótico se adhiere al centrómero de los cromosomas
 - **Metafase**, los cromosomas están alineados, uno detrás de otro, en el ecuador de la célula
 - **Anafase**, cada cromátida hermana se dirige a un polo de la célula, una va a un polo y otra va a otro polo
 - **Telofase**, las cromátidas hermana se encuentra en los polos de la célula
 - Etapa de división del citoplasma o **citocinesis** [kytos (nuez, célula) y kinein (mover), más el sufijo -sis (resultado de la acción)] es la división física del citoplasma y en el reparto equitativo de los orgánulos citoplasmático.

1 En relación al ciclo celular, ¿Qué significa la palabra ciclo?



Maestro naturales
José Manuel Huertas Suárez



2.2 Puntos de control del ciclo celular

Los puntos de control del ciclo celular (checkpoints) son mecanismos moleculares que examinan/verifican si se cumplen las condiciones necesarias para permitir el paso de una fase a otra y asegurarse que no hay errores. Hay tres puntos de control:

El control 1 permite verificar los siguientes parámetros:

- ☐ Sí tiene el tamaño suficiente para dividirse
- ☐ Sí tiene las suficientes reservas de energía y nutrientes para dividirse
- ☐ Sí existen señales moleculares internas o externas que estimulen su crecimiento.

Si alguna de estas condiciones no se cumple, la célula entra en la fase de reposo G₀

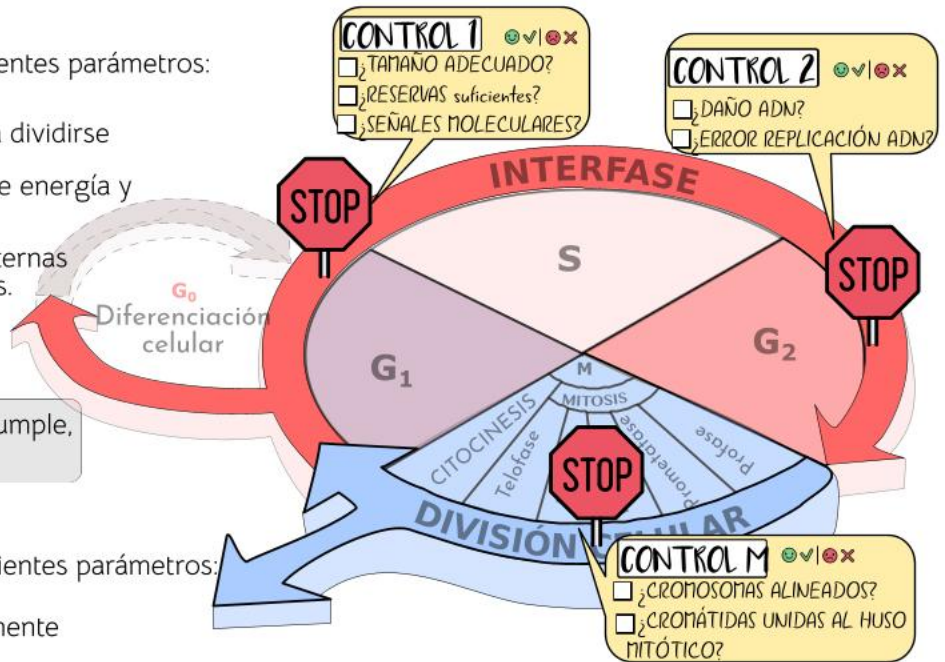
El control 2 permite verificar los siguientes parámetros:

- ☐ El ADN ha sido copiado íntegramente
- ☒ ¿Cómo son los errores de replicación?
 - ☐ No hay errores o daños en el ADN, ergo el ciclo celular continúa
 - ☐ Hay **pequeños errores** o daños en el ADN, el ciclo celular se detiene para intentar repararlo (el ciclo celular se va a terminar, pero va a tardar más tiempo)
 - ☐ Hay **grandes errores** o daños en el ADN, la célula sufre **apoptosis** (= autodestrucción). A sí la célula se asegura que el ADN dañado **no** pase a las células hijas.

El control 2 permite verificar los siguientes parámetros:

- ☐ Todos los cromosomas estén correctamente alineados. Si algún cromosoma está rezagado o fuera de lugar, la mitosis se detiene para dar tiempo a que el cromosoma ocupe su lugar.
- ☐ Todas las cromátidas hermanas estén unidas a los microtúbulos del huso.

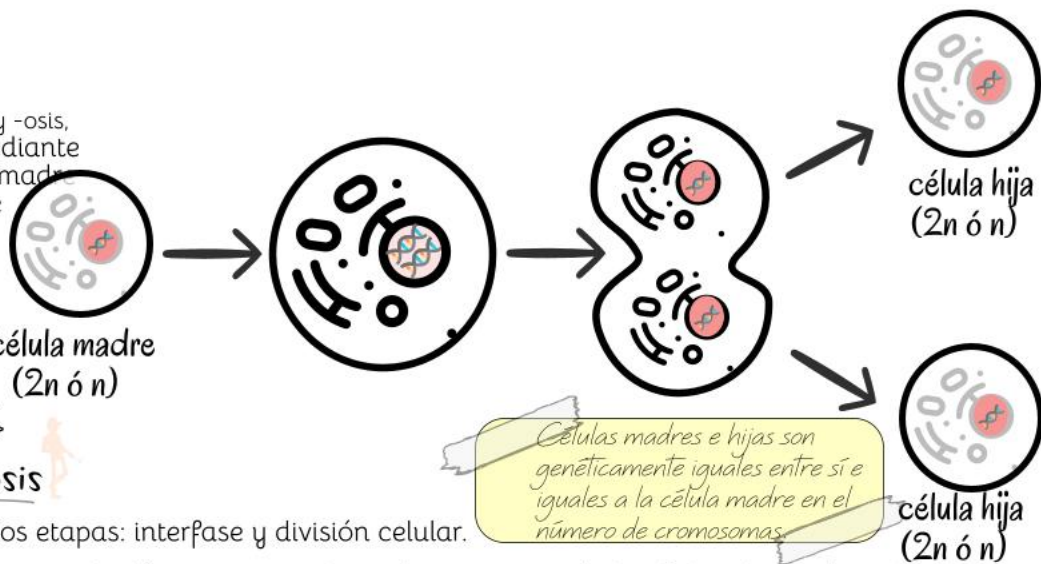
Control #M o control de huso ocurre a la mitad de la mitosis y allí la célula comprueba (checkpoint,) que



3 Mitosis

La mitosis [del griego miosis, hilo y -osis, formación] es el mecanismo mediante el cual, a partir de una célula madre diploide ($2n$) o haploide (n), se obtienen dos células hijas diploides ($2n$) o haploides (n) respectivamente. Células madres e hijas son genéticamente iguales entre sí e iguales a la célula madre en el número de cromosomas.

Gráficamente se expresa así ->

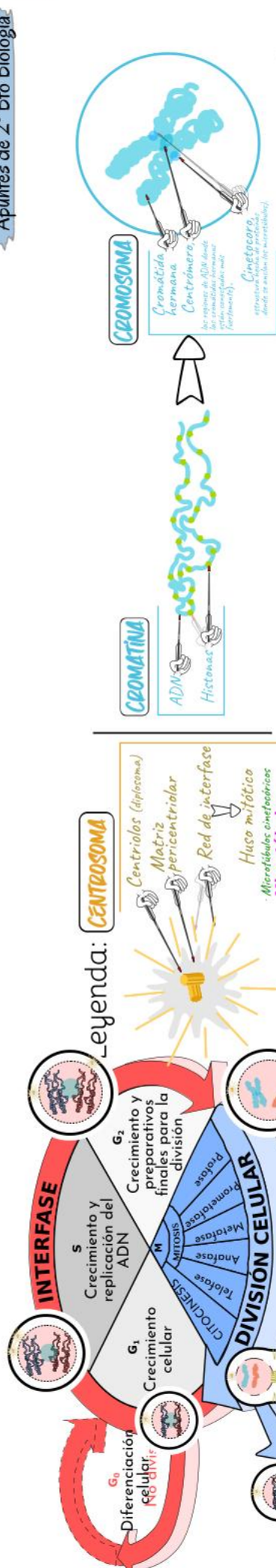


3.1 Fases de la mitosis

En este proceso, se distinguen dos etapas: interfase y división celular.

- **Interfase** es el conjunto de procesos biológicos que explican el crecimiento de la célula y la duplicación de centriolos y material genético previo a la división celular. Distinguimos estas tres fases:
 - **Fase de crecimiento 1** (gap 1 o fase G1, con duración de unas ocho horas, la G denota Growth "crecimiento 1" o Gap "intervalo o hueco") ocurre entre el final de la fase M y el comienzo de la duplicación del ADN y es donde la célula se recupera de la división previa, después aumenta su tamaño, duplica sus orgánulos (mitocondrias, ribosomas, etc.) y estructuras citoplasmáticas, acumula materiales que se utilizarán en la síntesis del ARN (transcripción de genes) y síntesis de proteínas (traducción) y prepara la cromatina para la duplicación. El material genético se encuentra en forma de cromatina (fibra de ADN enrollado con histonas).
 - **Fase de quiescencia** (crecimiento nulo o fase G0), donde la célula está diferenciada y se dedica a realizar su función específica. Hay dos tipos de células: (1) las que se encuentran indefinidamente en fase G0 porque han perdido su capacidad de división debido a que han realizado más de 60 ciclos celulares; o bien, nacieron con esa cualidad como las neuronas y células musculares esqueléticas y (2) las células que se encuentran temporalmente en fase G0, pues en circunstancias especiales se vuelven a dividir debido a la cicatrización o regeneración.
 - **Fase de replicación** (síntesis o S, con duración de unas seis horas. La S denota Synthesis ADN "síntesis del ADN") es la segunda etapa de la interfase donde se produce la duplicación del material genético (replicación del ADN e histonas -proteínas asociadas a él-) y la duplicación de centriolos, de forma que se forman dos centrosomas, que permanecerán juntos en las proximidades del núcleo.
 - **Fase de crecimiento 2** (gap 2 o fase G2, con duración de unas cuatro horas y media) es la tercera y última etapa de la interfase donde se prosigue el crecimiento celular (de ahí lo de G2) hasta alcanzar el tamaño adecuado (normalmente el doble del tamaño original), comienza formarse los microtúbulos responsables de la división celular y sintetizar proteínas necesarias.
- **División celular** es el conjunto de procesos biológicos que explican cómo se divide primero el núcleo y luego el citoplasma
 - **Etapas de división del núcleo o cariocinesis** [cariocinesis del griego cario, núcleo y cinesis, división] es la división del núcleo y reparto del material genético. Es el primer proceso de la fase M mediante el cual el material genético de una célula madre se distribuye de manera idéntica entre dos células hijas. Dura 5 % del tiempo del ciclo celular. La cariocinesis se divide en 5 fases
 - **Profase**, donde aparecen los cromosomas y comienza a sintetizarse huso mitótico
 - **Prometáfase**, desaparece la envoltura nuclear y el huso mitótico se adhiere al centrómero de los cromosomas
 - **Metáfase**, los cromosomas están alineados, uno detrás de otro, en el ecuador de la célula
 - **Anafase**, cada cromátida hermana (cromosoma anafásico) se dirige a un polo de la célula, una va a un polo y otra va a otro polo
 - **Telofase**, las cromátidas hermanas se encuentran en los polos de la célula
 - **Etapas de división del citoplasma o citocinesis** [kytos (nuez, célula) y kinein (mover), más el sufijo -sis (resultado de la acción)] es la división física del citoplasma y el reparto equitativo de los orgánulos citoplasmáticos. Empieza a ocurrir al final de la telofase. En algunas ocasiones, la mitosis no va acompañada por la citocinesis, lo que origina células polinucleadas (como las del músculo esquelético). En otras ocasiones, pueden realizarse sucesivas citocinesis sin que haya tenido lugar la mitosis, como ocurre con las plaquetas que se originan por la fragmentación del gran citoplasma de los megacariocitos. La división del citoplasma se puede realizar mediante dos mecanismos: estrangulación (en células animales) y la tabicación (en células vegetales).
 - **Estrangulación** se da en células animales en el interior de la membrana plasmática y a la altura del ecuador de la célula. Consiste en formar un anillo periférico contráctil de actina asociada a miosina que va constriñendo la célula y formando un surco de división.
 - **Tabicación** se da en células vegetales en el interior del citoplasma a la altura del ecuador de la célula. Consiste en acumular vesículas procedentes del aparato de Golgi (que contienen elementos para formar la pared celular y la lámina media). Las vesículas se fusionan hasta que, finalmente, entran en contacto con la membrana plasmática y forman un fragmoplasto. A ambos lados del fragmoplasto se formarán la membrana plasmática fruto de la conversión de la membrana de las vesículas, luego la pared celular y por último la lámina media. De esta forma se origina el tabique que hará posible la división celular.





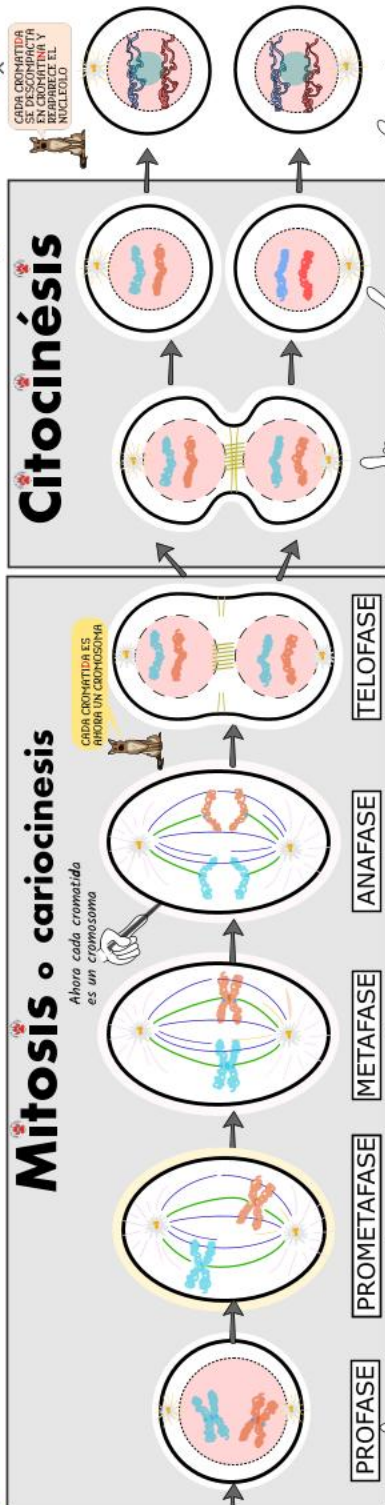
División celular o fase M

Mitosis

Mitosis o cariocinesis

Interfase

José Manuel Huertas Suárez



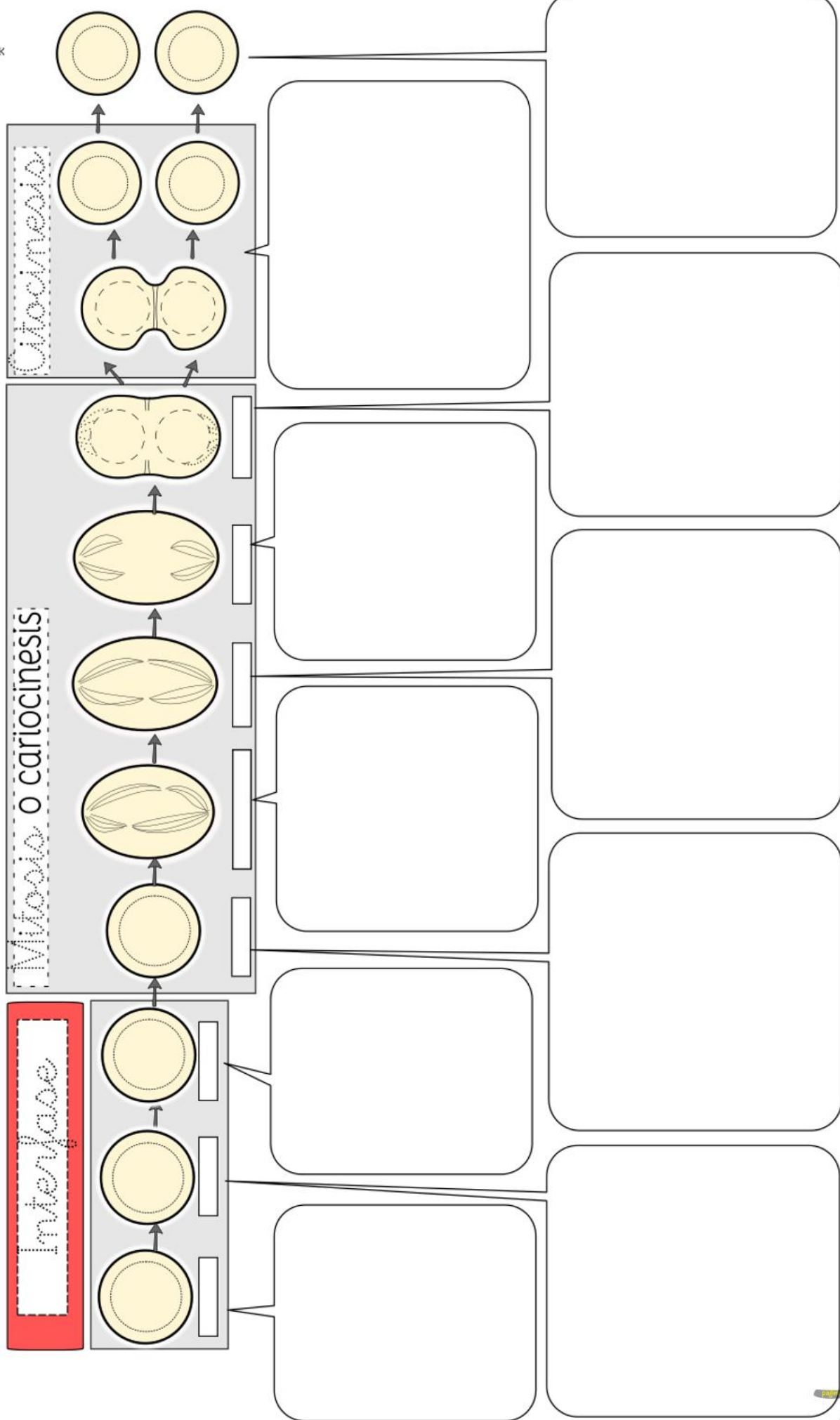
- Crecimiento celular** (multiplicación de enzimas y orgánulos; ergo aumenta el tamaño celular)
- Replicación del ADN** (cada cromátida (= molécula de ADN + histonas) se duplican)
 - Duplicación centrosoma
- Preparativos división** (acopio de material y la cromatina empieza a condensarse)
- Desaparece el núcleo**
 - Visualización de cromosomas con dos cromátidas
 - Se empieza a sintetizar microtúbulos a partir del:
 - Centrosoma con centríolos en células animales
 - Centrosoma sin centríolos o centro organizador de microtúbulos (COM) en células vegetales
- La envoltura nuclear desaparece.**
 - El nucleoplasma y el citoplasma se mezclan
 - Microtúbulos cinetocóricos se unen al cinetocoro que se encuentra en el centrómero de los cromosomas
- Ubicación de los cromosomas en el centro celular unidos por el centrómero.**
 - Todos los cromosomas están alineados, unos detrás de otros, y sus cromátidas hermanas miran a los polos
- Las cromátidas hermanas se separan por los centrómeros debido al acortamiento de los microtúbulos cinetocóricos.**
 - Cada cromátida hermanita, que ahora recibe el nombre de cromosoma anafásico, emigran a polos celulares, una va a un polo y la otra a otro polo
- Cromátidas hermanas están en los polos**
 - Huso mitótico desaparece
 - Reaparece la envoltura nuclear
 - Los microtúbulos polares se agrupan en el ecuador celular y forman los cilindros de sustancia densa interzonal
- Los orgánulos se reparten equitativamente**
 - El citoplasma empieza a:
 - Construirse/estragularse gracias a un anillo contráctil de proteínas en células animales
 - Tabicarse gracias a vesículas del aparato de Golgi llenas de hemicelulosa y pectinas que al agruparse forman el fragmoplasto en células vegetales
- Cromátidas se descompactan**
 - Aparece nucleolo
- Tenemos dos células con cromosomas de una cromátida**

MITOSIS { Profase → Prometáfase → Metafase → Anafase → Telofase }



Entrena para el día del examen. Primero repasa las palabras con puntos, más tarde dibuja dentro de la célula, luego rotula cada subfase y, por último rellena los bocadillos.

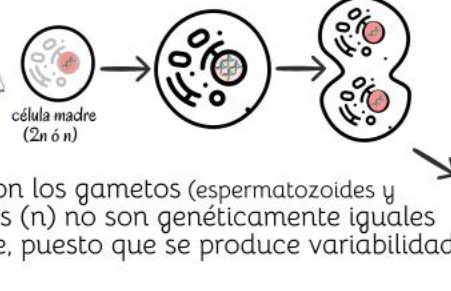
División celular o fase M



4 Meiosis

La **meiosis** [del griego meiosis, disminución] es el mecanismo mediante el cual, a partir de una célula madre diploide ($2n$), se obtienen cuatro células haploides (n) genéticamente distintas entre sí y que contienen la mitad del número de cromosomas.

Células madres e hijas son genéticamente distintas entre sí y distintas a la célula madre en el número de cromosomas.



Las células resultantes de la meiosis son los gametos (espermatozoides y óvulos) y esporas. Los núcleos haploides (n) no son genéticamente iguales entre ellos, ni iguales a la célula madre, puesto que se produce variabilidad genética.

4.1 Fases de la meiosis

Periodo de interfase premeiótica (de no división), semejante a la interfase de la mitosis en la que existe duplicación de ADN y, en las células animales, duplicación de los centríolos.

En este proceso, se distinguen cuatro periodos: interfase premeiótica, meiosis I, interkinesis y meiosis II

- **Fase de crecimiento 1** (gap 1 o fase G1, con duración de unas ocho horas, la G denota Growth "crecimiento 1" o Gap "intervalo o hueco") ocurre entre el final de la fase M y el comienzo de la duplicación del ADN y es donde la célula se recupera de la división previa, después aumenta su tamaño, duplica sus orgánulos (mitocondrias, ribosomas, etc.) y estructuras citoplasmáticas, acumula materiales que se utilizarán en la síntesis del ARN (transcripción de genes) y síntesis de proteínas (traducción) y prepara la cromatina para la duplicación. El material genético se encuentra en forma de cromatina (fibra de ADN enrollado con histonas).
- **Fase de quiescencia** (crecimiento nulo o fase G0), donde la célula está diferenciada y se dedica a realizar su función específica. Hay dos tipos de células: las que se encuentran indefinidamente en fase G0 porque han perdido su capacidad de división debido a (1) que han realizado más de 60 ciclos celulares; o bien, (2) nacieron con esa cualidad como las neuronas y células musculares esqueléticas y (3) las células que se encuentran temporalmente en fase G0, pues en circunstancias especiales se vuelven a dividir debido a la cicatrización o regeneración.
- **Fase de replicación** (síntesis o S, con duración de unas seis horas. La S denota Synthesis ADN "síntesis del ADN") es la segunda etapa de la interfase donde se produce la duplicación del material genético (replicación del ADN e histonas -proteínas asociadas a él-), y la duplicación de centríolos, de forma que se forman dos centrosomas, que permanecerán juntos en las proximidades del núcleo.
- **Fase de crecimiento 2** (gap 2 o fase G2, con duración de unas cuatro horas y media) es la tercera y última etapa de la interfase donde se prosigue el crecimiento celular (de ahí lo de G2) hasta alcanzar el tamaño adecuado (normalmente el doble del tamaño original), comienza a formarse los microtúbulos responsables de la división celular y sintetizar proteínas necesarias.

Meiosis I, primera división meiótica. En esta fase los cromosomas homólogos se separan. Un cromosoma homólogo va a una célula hija y el otro cromosoma homólogo va a la otra célula hija. Se trata de una división reduccional, puesto que el número de cromosomas se reduce a la mitad.

- **Etapa de división del núcleo o cariocinesis** [del griego cario, núcleo y cinesis, división] es la división del núcleo y reparto del material genético. Se divide en 5 fases: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.
 - **Profase I**, se producen tres procesos biológicos concatenados que no se producen en la mitosis y serían: (1) emparejamiento, apareamiento o sinapsis de cromosomas homólogos, (2) entrecruzamiento, (3) recombinación genética (rotura, intercambio y unión de segmento de ADN)
 - **Prometafase I**, desaparece la envoltura nuclear y el huso mitótico se adhiere al centrómero de los cromosomas
 - **Metafase I**, los cromosomas están emparejados formando las tetradas. Cada tetrada está alineado con la anterior, uno detrás de otro, en el ecuador de la célula
 - **Anafase I**, cada pareja de cromosomas se dirige a un polo de la célula, una va a un polo y otra va a otro polo
 - **Telofase I**, las parejas de cromosomas se encuentran en los polos de la célula
- **Etapa de división del citoplasma o citocinesis** [kytos (nuez, célula) y kinein (mover), más el sufijo -sis (resultado de la acción)] es la división física del citoplasma y en el reparto equitativo de los orgánulos citoplasmáticos.



➤ La **interkinesis** es un breve periodo de descanso entre la meiosis I y la meiosis II, durante el cual no ocurre duplicación del ADN, pero sí duplicación del centrosoma que falta (dibújalo, porque no está dibujado en el siguiente esquema).

➤ **Meiosis II, segunda división meiótica.** En esta fase las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan. Una cromátida hermana va a una célula hija y la otra cromátida hermana va a la otra célula hija. Se trata de una división ecuacional, puesto que las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre; es pues parecida a una división mitótica prácticamente normal.

- **Etapa de división del núcleo o cariocinesis** [del griego cario, núcleo y cinesis, división] es la división del núcleo y reparto del material genético. Se divide en 5 fases: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.
 - **Profase II**, se visualizan los cromosomas
 - **Prometafase II**, desaparece la envoltura nuclear y el huso mitótico se adhiere al centrómero de los cromosomas
 - **Metafase II**, los cromosomas se alinean unos detrás de otros en una única fila. Cada cromosoma está alineado con la anterior, uno detrás de otro, en el ecuador de la célula
 - **Anafase II**, cada cromátida hermana se dirige a un polo de la célula, una va a un polo y otra va a otro polo
 - **Telofase II**, las cromátidas hermanas se encuentran en los polos de la célula
- **Etapa de división del citoplasma o citocinesis** [kytos (nuez, célula) y kinein (mover), más el sufijo -sis (resultado de la acción)] es la división física del citoplasma y en el reparto equitativo de los orgánulos citoplasmático.

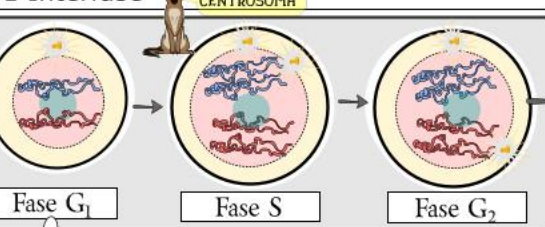
Meiosis

(2 divisiones celulares sucesivas: 1ª reduccional y 2ª no reduccional)

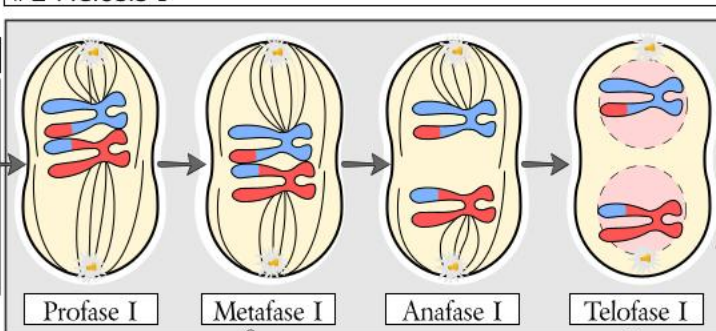
LOS CROMOSOMAS NO SE FORMAN EN LA INTERFASE (EN LA FASE G₁, S NI G₂), PUES LO QUE HAY ES CROMATINA. EN LA MEIOSIS ES CUANDO SE FORMA LOS CROMOSOMAS-

#1 Interfase

SE DUPLICA EL CENTROSOMA



#2 Meiosis I



Crecimiento celular
(multiplicación de enzimas y orgánulos; ergo aumenta el tamaño celular)

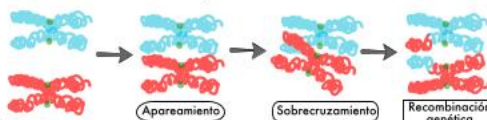
Preparativos división
(acopio de material y la cromatina empieza a condensarse)

• **Ubicación de los cromosomas homólogos en el centro celular unidos por los quiasmas**
(las cromátidas miran a los polos)

• **Cromosomas están en los polos**
• **Reaparece la envoltura nuclear y desaparece el huso mitótico**

• **Replicación del ADN** [cada cromatina (= molécula de ADN + histonas) se duplican]
• **Duplicación centrosoma**

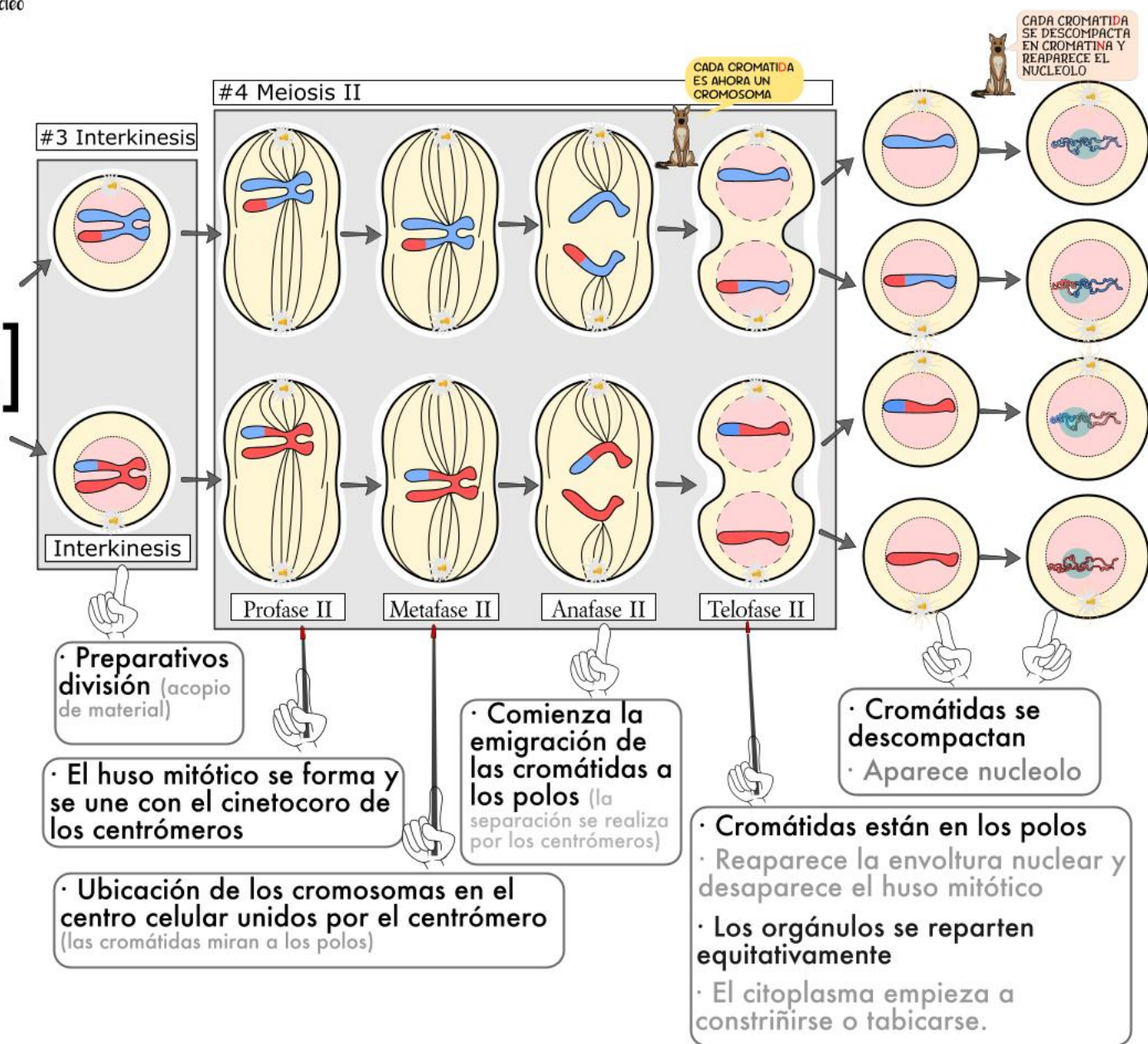
• **Desaparece la envoltura nuclear**
• **Aparecen los cromosomas.**
• **Apareamiento, sobrecruzamiento y recombinación genética** (huso mitótico se forma y se une con el cinetocoro de los centrómeros)



• **Comienza la emigración de los cromosomas**
(la separación se realiza por los quiasmas)



[...]



5

Explica la razón por la cual la meiosis no es un ciclo celular

La meiosis es un proceso biológico que produce células haploides genéticamente diversas a partir de células diploides especiales.

6

¿Qué significa que la meiosis I es reduccional y la meiosis II ecuacional?

Meiosis I: Reduce a la mitad el número de cromosomas, pasando de diploide a haploide.

Meiosis II: Separa las cromátidas hermanas, asegurando que cada gameto tenga un conjunto completo de cromosomas haploides.

Comprender esta diferencia es esencial para entender cómo se produce la variabilidad genética en los organismos que se reproducen sexualmente. La meiosis I, al separar los cromosomas homólogos, permite la recombinación genética, lo que significa que los gametos reciben una combinación única de genes de cada progenitor.

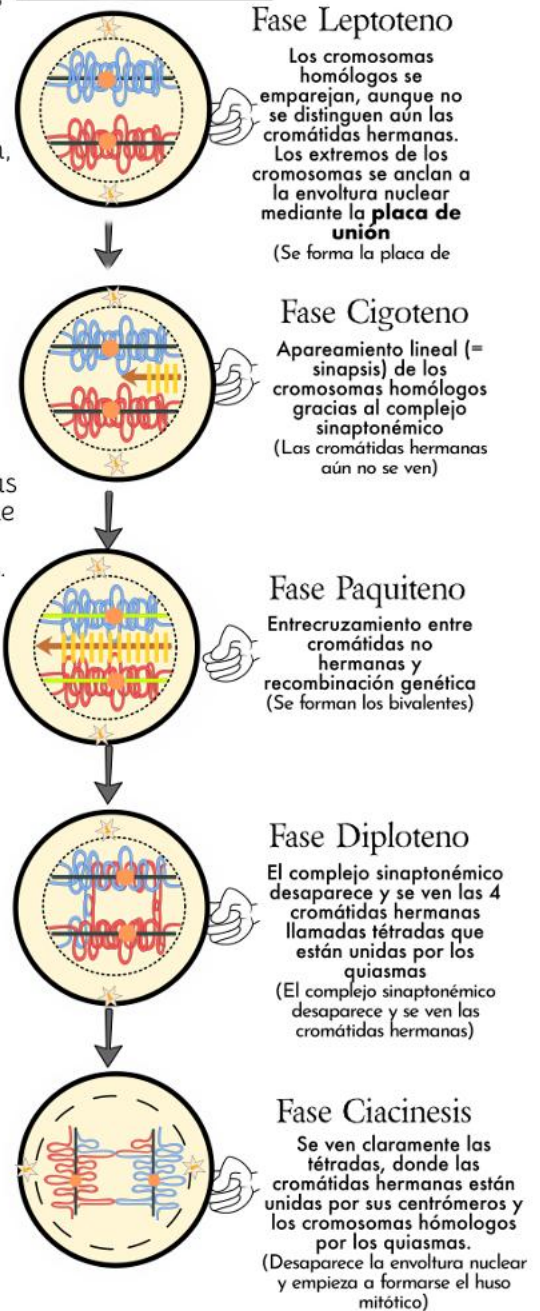


4.1 Profase I meiótica en detalle

Profase I, se producen cuatro procesos biológicos concatenados que no se producen en la mitosis y serían: (1) emparejamiento, apareamiento o sinapsis de cromosomas homólogos, (2) entrecruzamiento y (3) recombinación genética (rotura, intercambio y unión de segmento de ADN). Para una mejor comprensión la profase se ha dividido en cinco fases: leptoteno, zigoteno, paquiteno, diploteno y ciacinesis.

- ✱ **Leptoteno** ["hilos delgados"]. Cada cromosoma homólogo se emparejan, aunque aún no se distingue las cromátidas hermanas.
- ✱ **Zigoteno** ["unión de hilos"]. Los cromosomas homólogos se aparean en un proceso llamado sinapsis. Se forma una estructura proteica llamada complejo sinaptonémico que junta cada gen con su homólogo como una cremallera que se cierra. A medida que progresa el apareamiento, se produce una condensación y un acortamiento de los cromosomas.
- ✱ **Paquiteno** ["hilo grueso"]. Se completa el apareamiento de los cromosomas homólogos y ocurre el entrecruzamiento. Las cromátidas no hermanas de cromosomas homólogos intercambian fragmentos de ADN, lo que produce recombinación genética. Los puntos de entrecruzamiento se visualizan como estructuras llamadas quiasmas.
- ✱ **Diploteno** ["hilos dobles"]. Los cromosomas homólogos comienzan a separarse, pero permanecen unidos por los quiasmas.
- ✱ **Ciacinesis** ["movimiento a través"]. Los cromosomas se condensan aún más y los quiasmas se terminalizan. La envoltura nuclear se desintegra y se forma el huso meiótico.

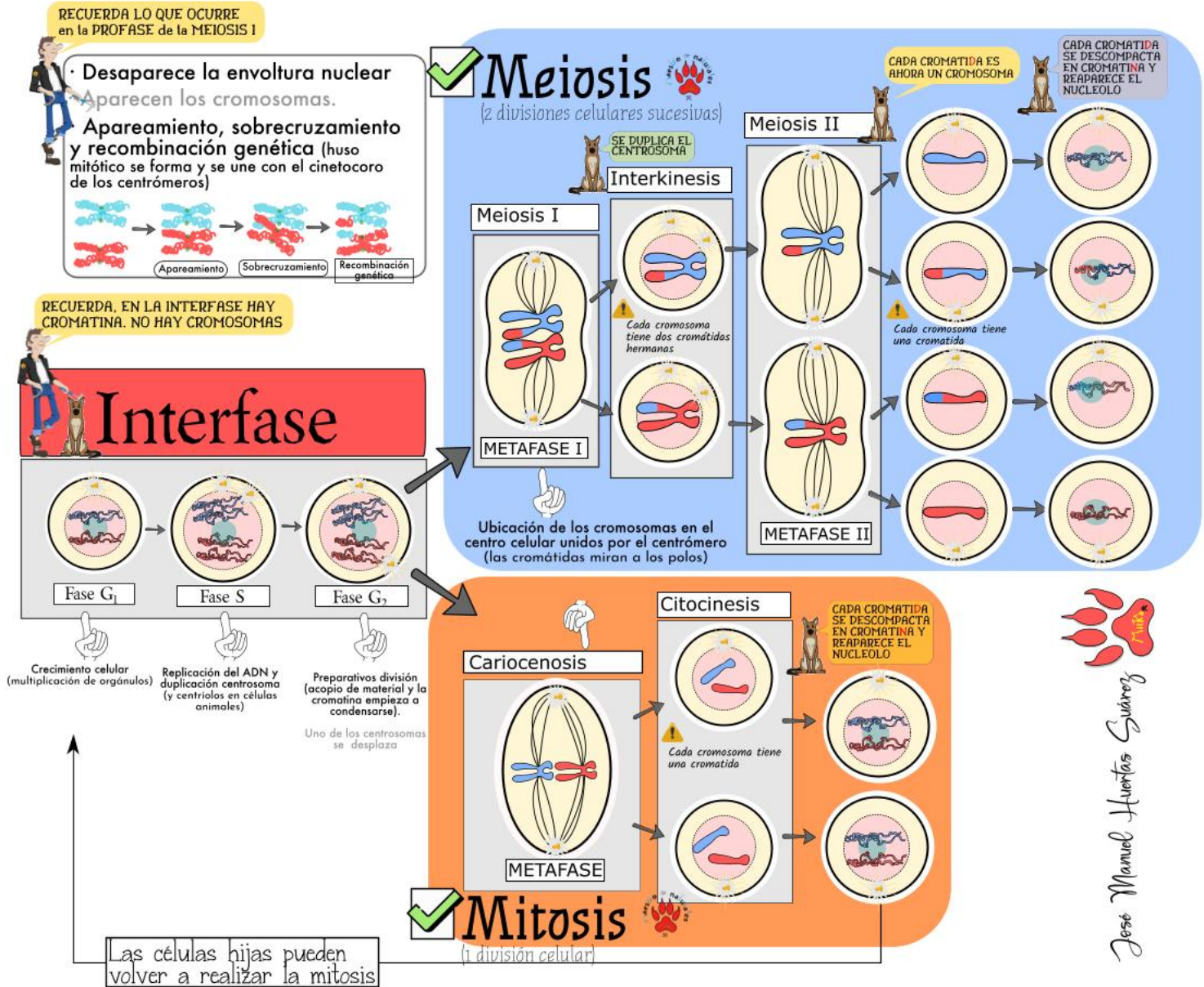
Profase I



5 Diferencias entre mitosis y meiosis

A continuación una tabla-resumen que establece la diferencias entre la mitosis y la meiosis.

Diferencia entre mitosis y meiosis



José Manuel Huertas Suárez

MITOSIS



MEIOSIS



¡Mirar Anexo 4!

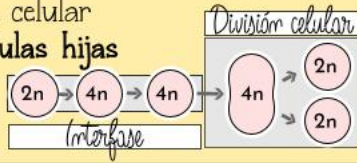
La mitosis es una cariocinesis y una citocinesis

La meiosis son dos cariocinesis y dos citocinesis

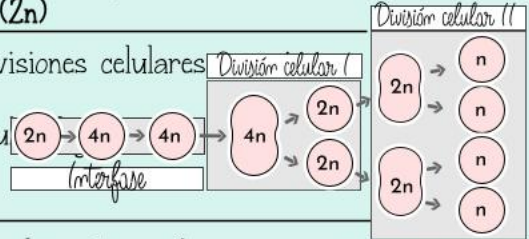
Se da en células somáticas haploides (n) o diploides (2n)

Se da en células germinales o sexuales diploides (2n)

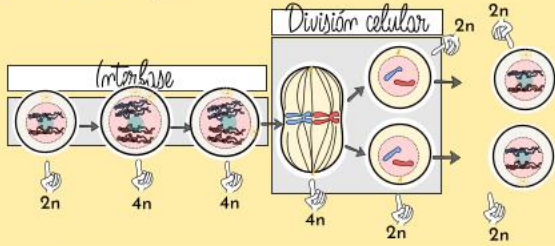
De una división celular resultan dos células hijas



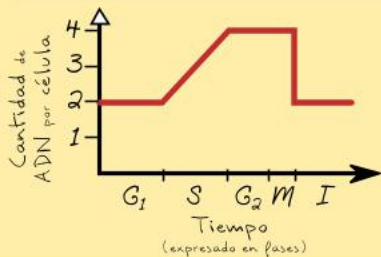
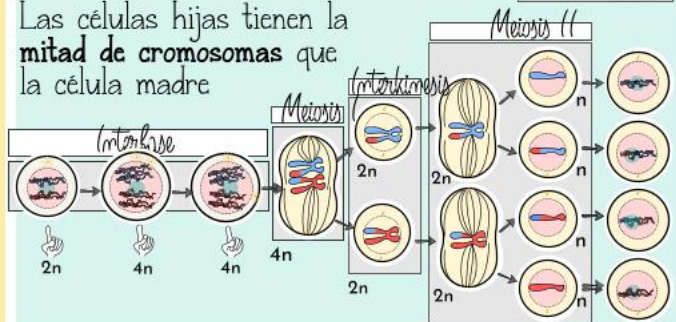
De dos divisiones celulares resultan cuatro células



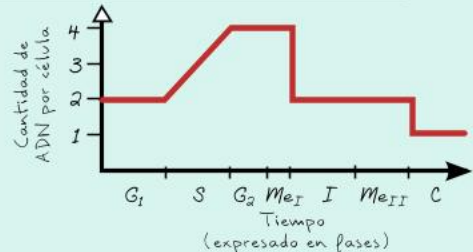
Las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre.



Las células hijas tienen la mitad de cromosomas que la célula madre.



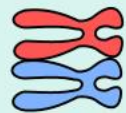
LOS GRÁFICOS REPRESENTAN LA CANTIDAD DE ADN QUE HAY CUANDO LA CÉLULA SE DIVIDE.



❌ Los cromosomas homólogos **No** se aparean



✅ Los cromosomas homólogos **Sí** se aparean (los brazos de las cromátidas no hermanas se juntan)



❌ **No** existe entrecruzamiento



✅ **Sí** existe entrecruzamiento (los brazos de las cromátidas no hermanas, que se han apareado, se solapan)



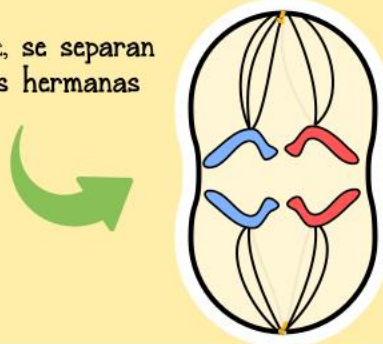
❌ **No** existe recombinación genética



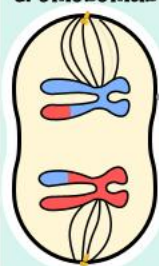
✅ **Sí** existe recombinación genética (parte de los brazos de las cromátidas no hermanas se intercambian)



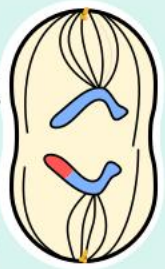
En la anafase, se separan las cromátidas hermanas



• En la anafase I, se separan los cromosomas homólogos (= tetradas)



• En la anafase II, se separan las cromátidas hermanas



❌ **No** existe variabilidad genética, por lo que las células hijas son genéticamente idénticas a la célula madre. (No hay cambio en la información genética)

✅ **Sí** existe variabilidad genética, por lo que las células hijas son genéticamente idénticas a la célula madre. (Si hay cambio en la información genética)

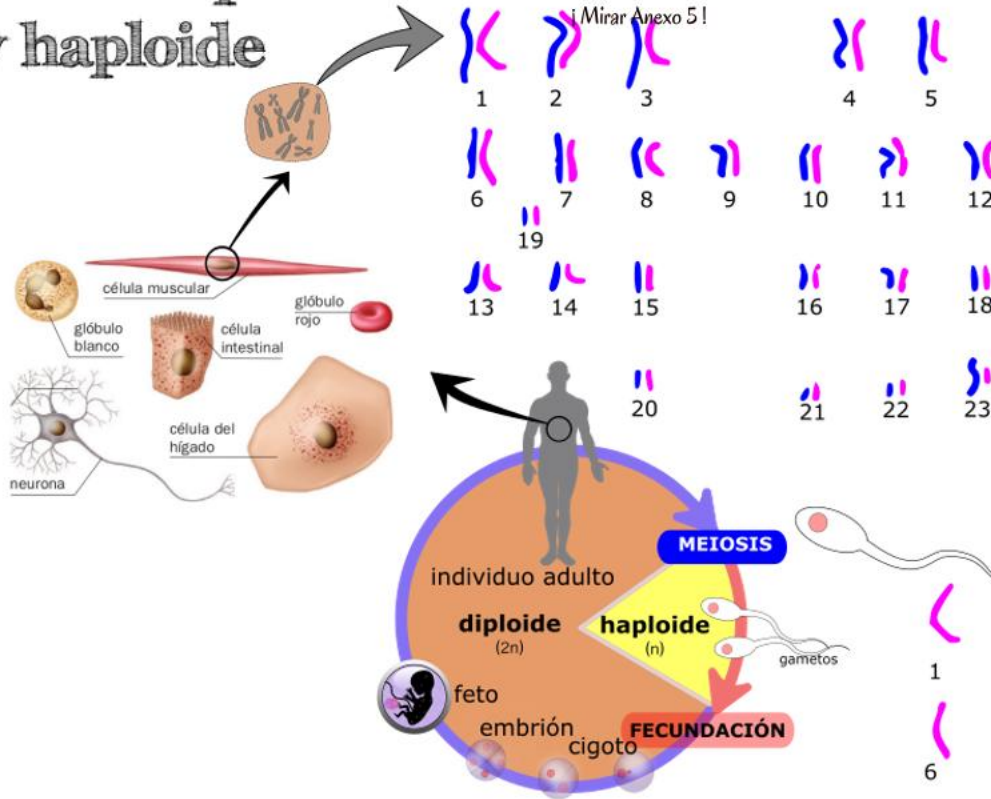


6 Ciclo biológico



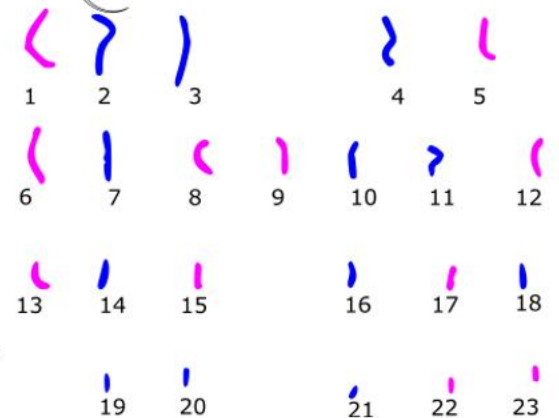
Los seres vivos pluricelulares con reproducción sexual se clasifican, según el momento en el que se produzca la meiosis y la fecundación, en tres grandes grupos: organismos con ciclo haplonte, los organismos con ciclo diplonte y organismos con ciclo diplohaplonte (mira el Anexo 4). Vamos a explicar el ciclo diplonte.

Cariotipo en una célula diploide y haploide



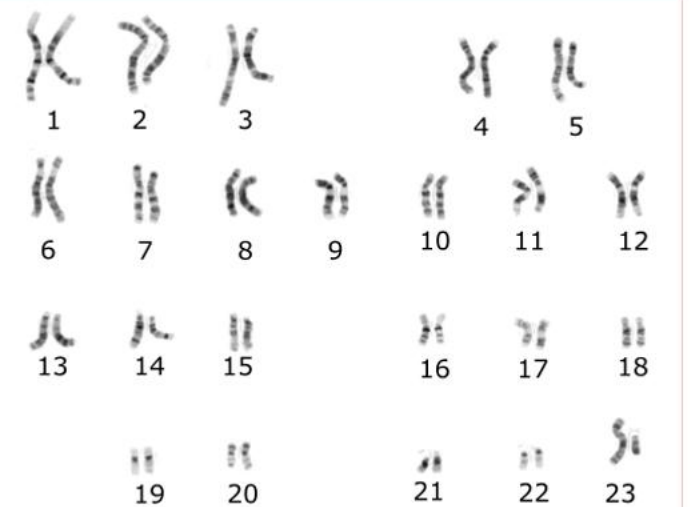
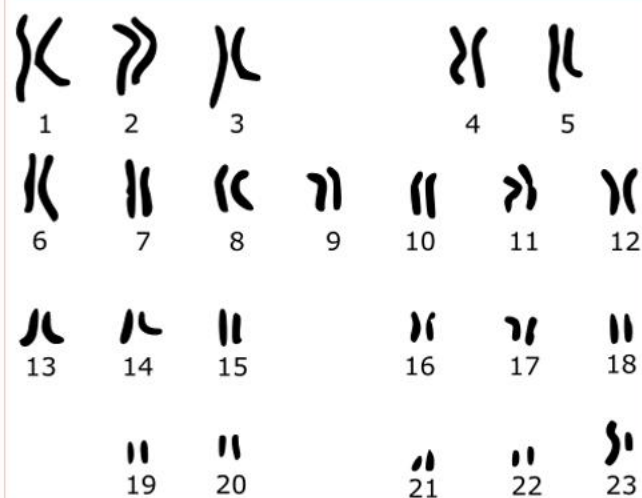
Cada especie tiene un cariotipo específico y único. Por ejemplo, el ser humano tiene 46 cromosomas, que se agrupan en parejas; por tanto, tenemos 23 pares. Aquellos seres vivos cuyos cromosomas se agrupan en parejas reciben el nombre de organismos diploides y se denota como 2n.

Cariotipo de una célula haploide



CICLO DIPLONTE

- El cigoto es la etapa 2n
- La meiosis produce gametos y es seguida inmediatamente por la fecundación
- En la mayor parte del ciclo, el organismo es diploide.



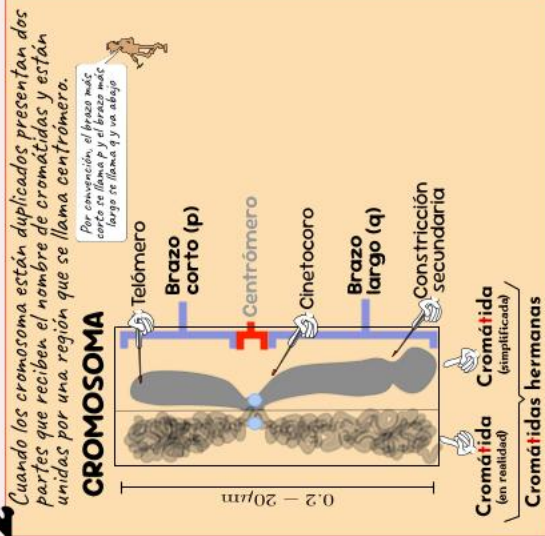
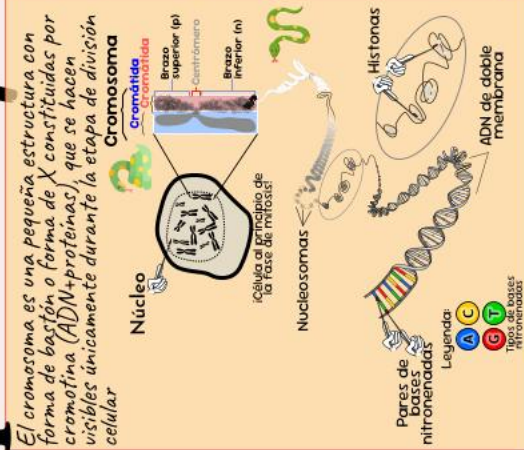
Cariotipo, es el conjunto de todos los cromosomas en su estadio metafase, ordenados según su morfología (posición del centrómero) y la longitud relativa.

Ideograma o cariograma, es el dibujo a escala de un cariotipo donde se incluyen el patrón de bandas. Se suele dibujar una cromátida hermana de cada cromosoma. Si la célula es diploide, se representa un solo cromosoma de cada

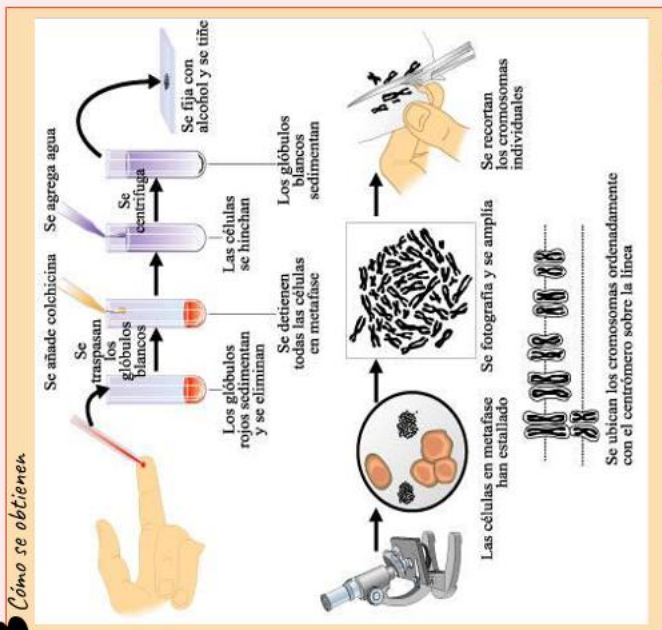
José Manuel Huertas Suárez



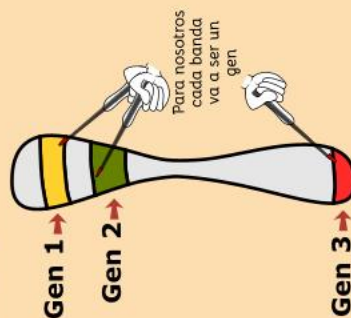
Cariotipo humano escolar



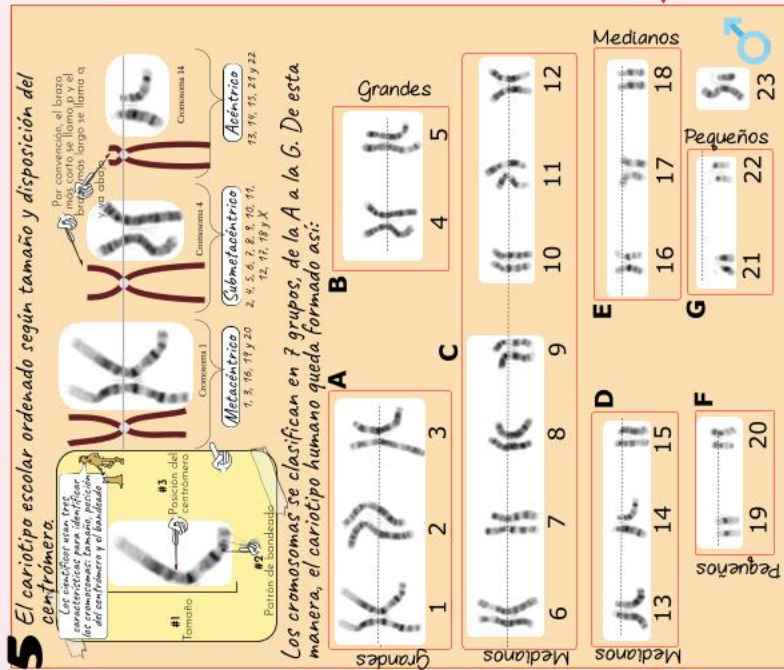
3 Cómo se obtienen



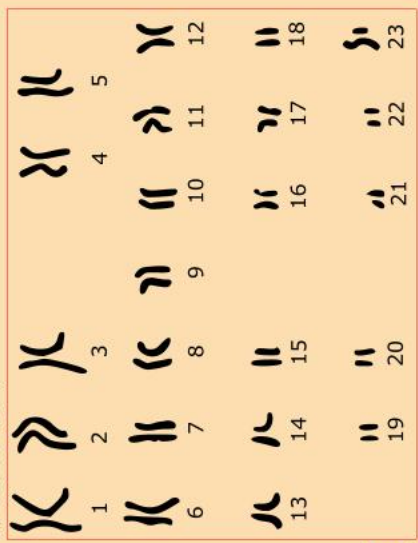
6 Dependiendo de la tinción empleada, se obtendrá un patrón de bandas claras y oscuras diferente y específico para cada par cromosómico



Cada gen* ocupa en el cromosoma una posición específica llamada locus
* Un gen es un fragmento de ADN que contiene información para expresar un fenotipo



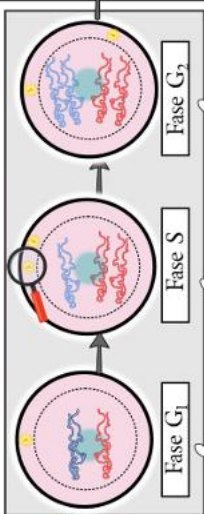
4 Cada especie tiene un cariotipo específico y único. Por ejemplo el ser humano tiene 46 cromosomas, que se agrupan en parejas; por tanto, tenemos 23 pares. Aquellos seres vivos cuyos cromosomas se agrupan en parejas reciben el nombre de organismos diploides y se denota como 2n



ANEXO 2

Mitosis en células animales

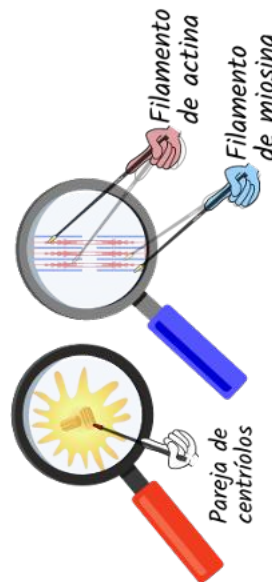
Interfase



Crecimiento celular
(multiplicación de enzimas y orgánulos; ergo aumenta el tamaño celular)

Replicación del ADN [cada cromatina (= molécula de ADN + histonas) se duplican]
• Duplicación centrosoma

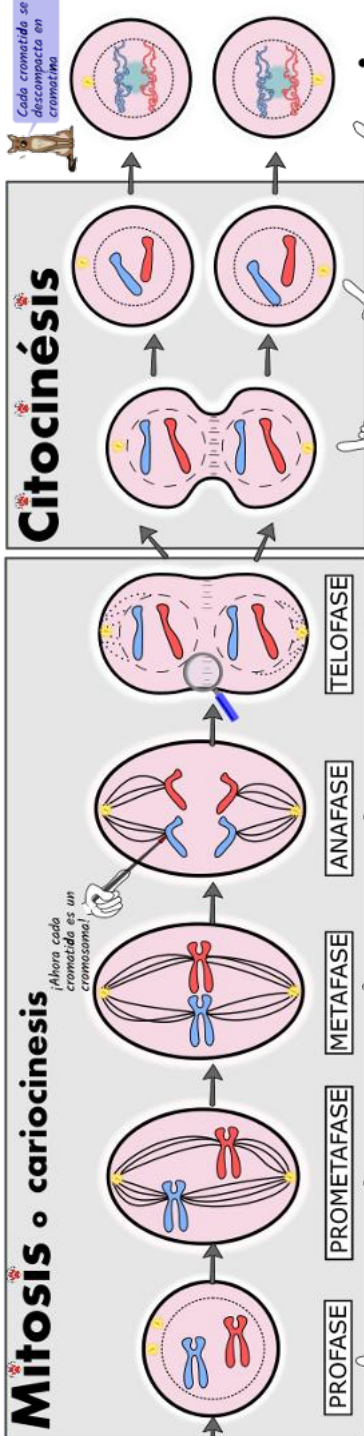
Preparativos división
(acopio de material y la cromatina empieza a condensarse)



División celular o fase M

Mitosis • cariocinesis

Citocinesis



Desaparece el nucleolo
• Visualización de cromosomas con dos cromátidas
• Se empieza a sintetizar microtúbulos a partir del:
- Centrosoma con centriolos en células animales

La envoltura nuclear desaparece.
• El nucleoplasma y el citoplasma se mezclan
• Microtúbulos cinetocóricos se unen al cinetocoro que se encuentra en el centrómero de los cromosomas

Ubicación de los cromosomas en el centro celular unidos por el centrómero.
• Todos los cromosomas están alineados, unos detrás de otros, y sus cromátidas hermanas miran a los polos

Las cromátidas hermanas se separan por los centrómeros debido al acortamiento de las microtúbulos cinetocóricos.
• Cada cromátida hermana, que ahora recibe el nombre de cromosoma anafásico, emigran a polos celulares, una va a un polo y la otra a otro polo

Cromátidas hermanas están en los polos
• Huso mitótico desaparece
• Reparece la envoltura nuclear
• Los microtúbulos polares se agrupan en el ecuador celular y forman los cilindros de sustancia densa interzonal

Los orgánulos se reparten equitativamente
• El citoplasma empieza a:
- constreñirse/ estragularse gracias a un anillo contráctil de proteínas en células animales
• Tenemos dos células con cromosomas de una cromátida

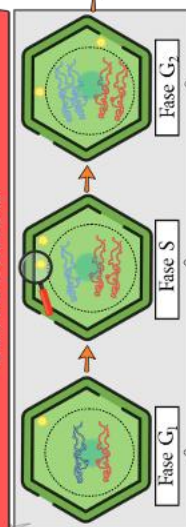
Cromátidas se descompactan
• Aparece nucleolo

ANEXO 3



Mitosis en células vegetales

Interfase



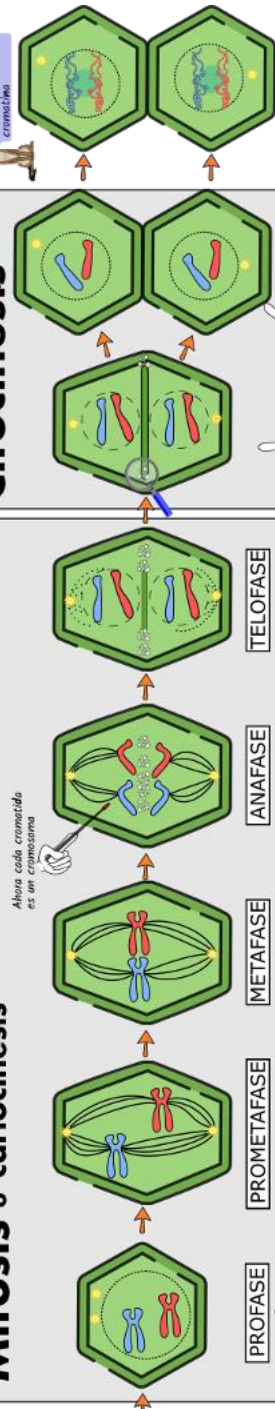
- Crecimiento celular** (multiplicación de enzimas y orgánulos; ergo aumenta el tamaño celular)
- Replicación del ADN** (cada cromatina (= molécula de ADN + histonas) se duplican)
- Duplicación centrosoma**
- Preparativos división** (acopio de material y la cromatina empieza a condensarse)



¡Ojo! Aquí hay cromatina. En la fase profase, es cuando se forman los cromosomas

División celular o fase M

Mitosis o cariocinesis



- Desaparece el nucleolo**
- Visualización de cromosomas con dos cromátidas**
- Se empieza a sintetizar microtúbulos a partir del:**
 - Centrosoma sin centriolos o centro organizador de microtúbulos (COM) en células vegetales

- La envoltura nuclear desaparece.**
 - El nucleoplasma y el citoplasma se mezclan
 - Microtúbulos cinetocóricos se unen al cinetocoro que se encuentra en el centrómero de los cromosomas

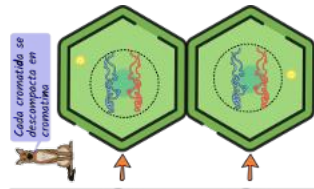
- Ubicación de los cromosomas en el centro celular unidos por el centrómero.**
 - Todos los cromosomas están alineados, unos detrás de otros, y sus cromátidas hermanas miran a los polos
- Las cromátidas hermanas se separan por los centrómeros debido al acortamiento de los microtúbulos cinetocóricos.**
 - Cada cromátida hermana, que ahora recibe el nombre de cromosoma anafásico, emigran a polos celulares, una va a un polo y la otra a otro polo

- Cromátidas hermanas están en los polos**
 - Huso mitótico desaparece
 - Reaparece la envoltura nuclear
 - Los microtúbulos polares se agrupan en el ecuador celular y forman los cilindros de sustancia densa interzonal

- Los orgánulos se reparten equitativamente**
 - El citoplasma del ecuador de la célula empieza a:
 - tabicarse gracias a vesículas del aparato de Golgi llenas de hemicelulosa y pectinas que al agruparse forman el fragmoplasto en células vegetales
- Tenemos dos células con cromosomas de una cromátida**

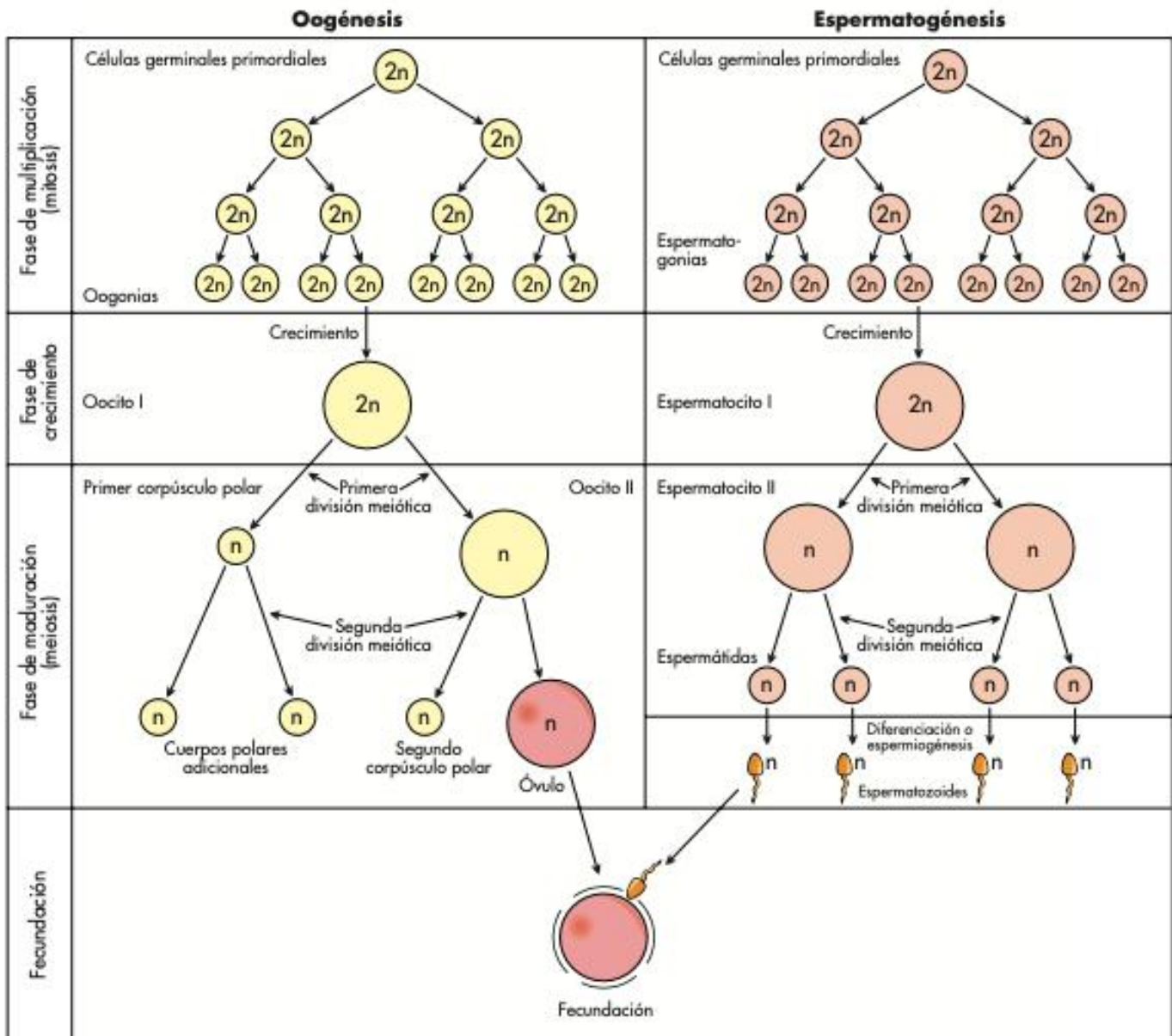
- Cromátidas se descompactan**
 - Aparece nucleolo

Citocinesis



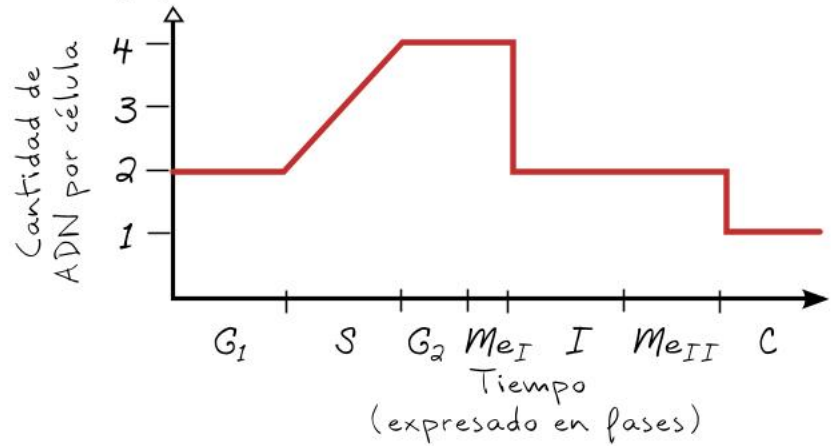
Cada cromátida se descompacta en cromatina

ANEXO 4



ANEXO 5

8 Ejercicio resuelto. Interpreta este gráfico



Interpretación del gráfico:

G_1 : La cantidad de ADN es constante y corresponde a la cantidad de ADN presente en una célula diploide ($2n$).

S: La cantidad de ADN se duplica debido a la replicación del ADN. Ahora la célula tiene el doble de ADN ($4n$).

G_2 : La cantidad de ADN se mantiene constante, ya que la célula está preparada para la división.

Me I: La cantidad de ADN se reduce a la mitad ($2n$). Esto se debe a que en la meiosis I se separan los cromosomas homólogos, pasando a cada célula hija solo una copia de cada cromosoma.

I: La cantidad de ADN se mantiene constante, ya que no hay replicación del ADN durante la interkinesis.

Me II: La cantidad de ADN se reduce a la mitad nuevamente (n). En esta fase se separan las cromátidas hermanas, resultando en células haploides.

C: Las células hijas resultantes de la meiosis II tienen la mitad de la cantidad de ADN que la célula original, es decir, son haploides.

En resumen:

El gráfico muestra cómo la cantidad de ADN varía a lo largo de la meiosis.

La duplicación del ADN ocurre en la fase S.

La reducción a la mitad de la cantidad de ADN ocurre en la meiosis I y II.

Al final de la meiosis se obtienen cuatro células hijas haploides.

9 Ejercicio resuelto. Si en la meiosis I y en la meiosis II la cantidad de ADN se reduce a la mitad, entonces ¿por qué se dice que la meiosis I es reduccional y la meiosis II es ecuacional?

Es común confundirse al principio cuando se habla de la meiosis I como reduccional y la meiosis II como ecuacional, ya que ambas implican una reducción en la cantidad de ADN. Sin embargo, hay una diferencia fundamental entre ambas divisiones que justifica esta terminología. La clave está en lo que se separa en cada división:

• **Meiosis I:** Es reduccional porque reduce a la mitad el número de cromosomas. Visualización: Imagina que tienes un par de calcetines, uno rojo y otro azul. En la meiosis I, cada célula hija recibiría solo uno de los calcetines, ya sea el rojo o el azul.

• **Meiosis II:** Es ecuacional porque mantiene el mismo número de cromosomas en las células hijas, pero separa las cromátidas hermanas. Visualización: Siguiendo con la analogía de los calcetines, en la meiosis II estaríamos separando las dos partes idénticas de cada calcetín.



ANEXO 6

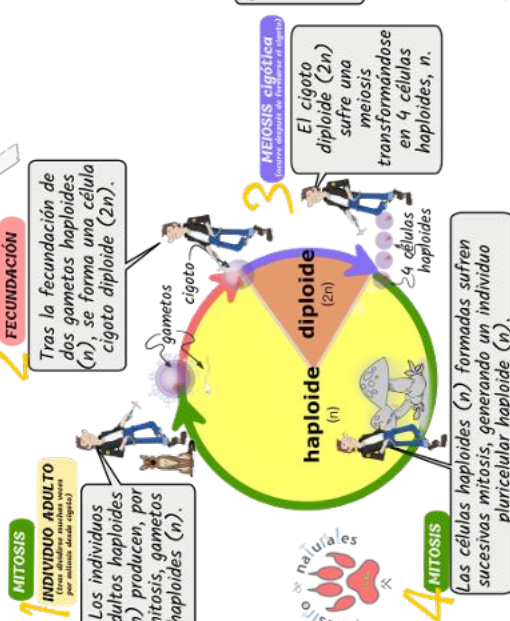
El concepto de ciclo biológico solo es aplicable a los organismos con reproducción sexual y, por tanto, implica una alternancia de fases haploides, con una sola dotación de cromosomas, n , y diploides, con número de cromosomas doble, $2n$.

Ciclo biológico sexual, es el conjunto de etapas de un individuo pluricelular desde que se hace hasta que vuelve a reproducir otro individuo parecido a él

Los seres vivos pluricelulares con reproducción sexual se clasifican, según el momento en el que el ciclo se da la meiosis y la fecundación, en tres grandes grupos: organismos con ciclo haplonte, los organismos con ciclo diplonte y organismos con ciclo diplohaplonte

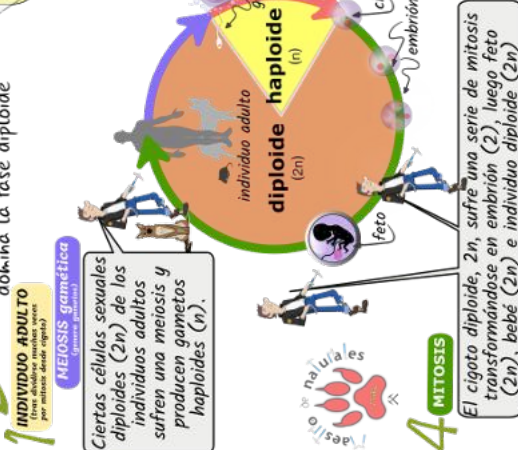
José Manuel Huertas Suárez

A Ciclo haplonte, domina la fase haploide

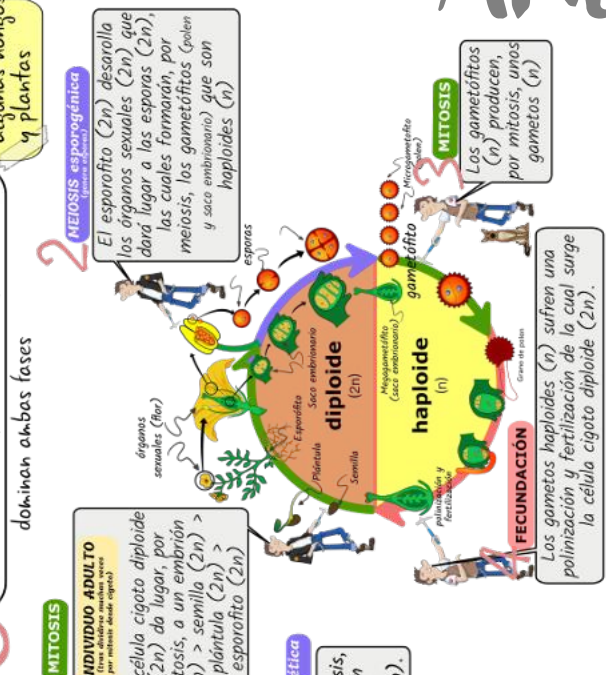


José Manuel Huertas Suárez

B Ciclo diplonte, domina la fase diploide



C Ciclo diplo-haplonte



FASE DIPLOIDE, al número de cromosomas que tiene el cigoto y se denota con $2n$. Hay 2 juegos de cromosomas en cada célula

FASE HAPLOIDE, al número de cromosomas que tienen los gametos y se denota con n . Hay 1 juego de cromosomas en cada célula