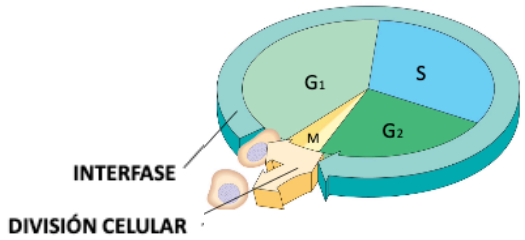
TEMA 4. LA DIVISIÓN CELULAR

El **ciclo celular** es el conjunto de etapas por las que pasa una célula desde su formación, como resultado de una división previa, hasta que se divide en dos células hijas. Este ciclo se divide en dos grandes fases:

1. **Interfase**: Representa la mayor parte del ciclo celular. Es el período durante el cual la célula crece, realiza su metabolismo activo, y prepara todos los componentes necesarios para la división.
2. **División Celular**: Aquí es cuando la célula se divide físicamente, originando dos células hijas.

El ciclo celular está representado gráficamente como un diagrama circular que incluye las siguientes etapas:

- **G_1 (Gap 1)**.
- **S (Síntesis)**.
- **G_2 (Gap 2)**.
- **M (División celular: mitosis y citocinesis)**.



2. Interfase: Fase de Preparación

La interfase es crucial para el crecimiento y preparación de la célula antes de dividirse. Se divide en tres subfases:

Fase G_1 (Gap 1):

- Es la **fase más larga**.
- La célula crece en tamaño, realiza su metabolismo normal, y sintetiza proteínas necesarias.
- Es una etapa de alta actividad metabólica.

Fase S (Síntesis):

- Se replica el ADN (duplicación), asegurando que cada célula hija tenga una copia exacta del material genético.
- Se sintetizan **histonas**, proteínas esenciales para empaquetar el ADN en cromatina.
- La célula pasa de tener una cantidad de ADN "2n" a "4n".

Fase G_2 (Gap 2):

- Es más corta que G_1.
- La célula completa la síntesis de proteínas necesarias para la división celular, como las tubulinas (para formar el huso mitótico).
- Representa los **pasos finales antes de entrar en la división celular**.

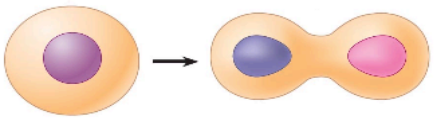
3. División Celular: Mitosis y Citocinesis

Fase M (Mitosis y Citocinesis):

Es la etapa de división activa, donde la célula madre se divide en dos células hijas. Este proceso tiene **dos componentes principales**:

Mitosis:

- Es la división del material genético nuclear.
- Ocurre en **cuatro fases principales**:



1. **Profase**: Los cromosomas se condensan, y la envoltura nuclear comienza a desaparecer. Aparece el huso mitótico.
2. **Metafase**: Los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial de la célula.
3. **Anafase**: Las cromátidas hermanas se separan y son arrastradas hacia polos opuestos.
4. **Telofase**: Se forman dos núcleos hijos con cromosomas descondensados, y se reconstituye la envoltura nuclear.

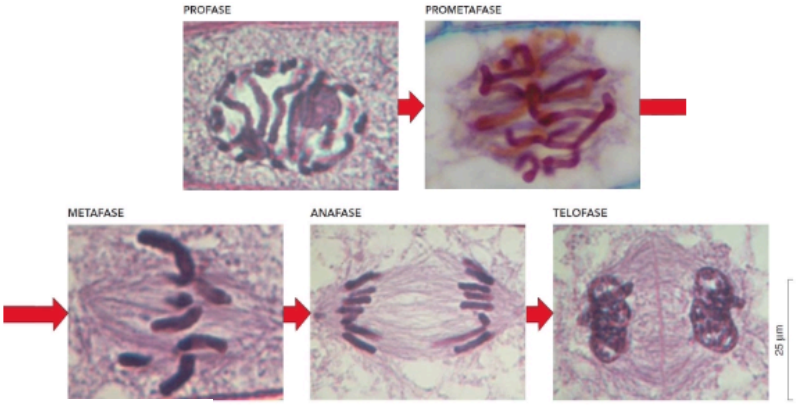
Citocinesis:

- Es la división del citoplasma. En las células de animales, un **anillo contráctil de actina** forma un surco de separación que divide físicamente la célula en dos.
- Al final de la citocinesis, se generan **dos células hijas** idénticas, cada una con su núcleo y su citoplasma.

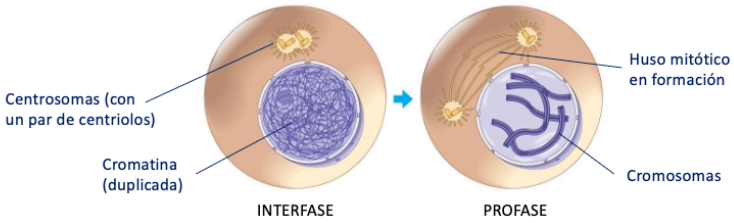
En resumen (por si no está claro):

1. La interfase (G_1, S, G_2) es un periodo de preparación y crecimiento.
2. La mitosis asegura la división equitativa del ADN entre las células hijas.
3. La citocinesis separa físicamente el citoplasma, completando la división celular.

Veamos ahora todo este proceso de división celular en organismos **eucariotas**, especialmente enfocado en la **mitosis** y sus cinco etapas, además de la organización de la cromatina:



División Celular: Mitosis (Eucariotas)



La mitosis es un proceso **continuo** que ocurre en cinco etapas principales:

1. Profase:

- **Condensación de la cromatina**: Durante la interfase, el ADN estaba en forma de cromatina extendida; ahora, la cromatina se condensa formando **cromosomas visibles**.
- Cada cromosoma está formado por dos **cromátidas hermanas**, unidas por el centrómero.
- Los **centrosomas** (con sus pares de centriolos) migran hacia los polos opuestos de la célula.
- Comienza a formarse el **huso mitótico**, compuesto de microtúbulos que se extenderán desde los centrosomas.

2. Prometafase:

- La **envoltura nuclear se descompone**, permitiendo que los cromosomas queden libres en el citoplasma.
- Los microtúbulos del huso mitótico se unen a los **cinetocoros**, estructuras proteicas presentes en el centrómero de cada cromosoma.
- Los cromosomas comienzan a moverse hacia el plano ecuatorial de la célula.

3. Metafase:

- Los cromosomas se alinean en el **plano ecuatorial**, formando la **placa metafásica**.
- Esta disposición garantiza que cada célula hija recibirá una copia exacta de cada cromosoma durante la división.

4. Anafase:

- Las **cromátidas hermanas se separan** debido al acortamiento de los microtúbulos del huso mitótico.
- Las cromátidas ahora son consideradas cromosomas independientes y son arrastradas hacia polos opuestos de la célula.

5. Telofase:

- Los cromosomas llegan a los polos y comienzan a **descondensarse**, volviendo a la forma de cromatina.
- Se forma una nueva **envoltura nuclear** alrededor de los conjuntos de cromosomas en cada polo, creando dos núcleos hijos.

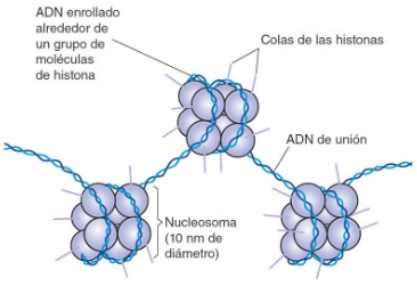
Citocinesis (Posterior a la Mitosis):

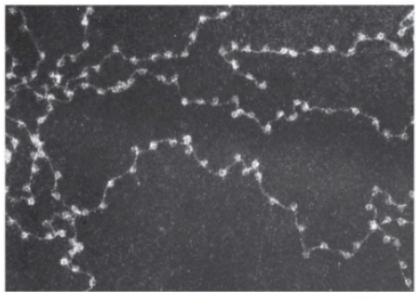
- Divide el citoplasma de la célula madre en dos células hijas.
- En células animales, esto ocurre mediante un **anillo contráctil** de actina y miosina que forma un surco de segmentación.
- En células vegetales, se forma una **placa celular** que se convierte en la nueva pared celular.

Interfase: Organización del ADN y Cromatina

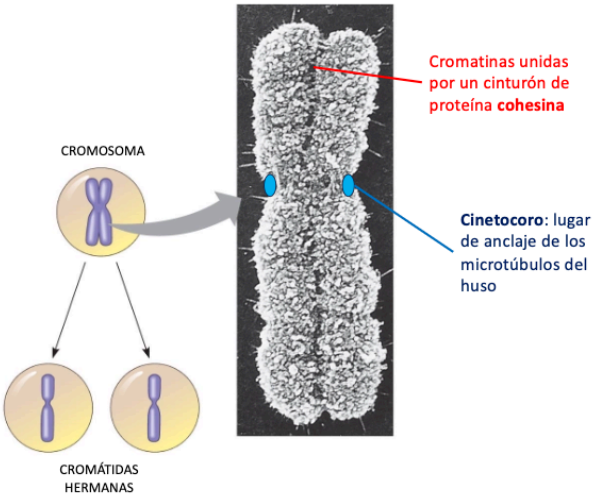
Cromatina y Niveles de Compactación:

- Durante la interfase, el ADN está en forma de **cromatina**, una estructura relajada que permite la replicación del ADN y la transcripción génica.





- La **cromatina** está formada por ADN enrollado alrededor de **nucleosomas** (conjunto de 8 histonas).
- **Histona H1**: Compacta la estructura formando una fibra de 30 nm.
- **Proteínas de andamiaje** y **condensinas**: Facilitan la compactación máxima durante la mitosis, formando los **cromosomas** visibles.



Todo este proceso asegura la correcta distribución del material genético y del citoplasma, garantizando que las células hijas sean idénticas a la célula madre en términos de ADN.

https://www.youtube.com/watch?v=7ybxaYhRpIA

https://www.youtube.com/watch?v=mDZLiZB0iPY

⇒ CITOESQUELETO Y MICROTÚBULOS: FUNCIÓN EN EL CICLO CELULAR

Microtúbulos y Centros Organizadores de Microtúbulos (MTOC):

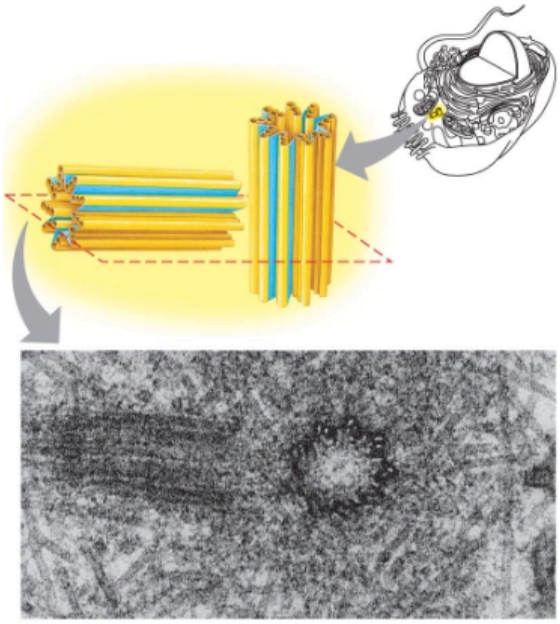
- Los **microtúbulos** son componentes esenciales del citoesqueleto celular, formados por proteínas tubulina (alfa y beta).
- En las células animales, los microtúbulos están anclados en los **Centros Organizadores de Microtúbulos** (MTOC), cuya estructura principal son los **centriolos**.

Centriolos: Estructura y Función:

- Los centriolos tienen una estructura característica de **9 tripletes de microtúbulos** dispuestos en un cilindro (estructura 9x3).
- Los centriolos se encuentran en pares dentro del **centrosoma**, y su duplicación es crucial durante el ciclo celular, especialmente en la fase G2 de la interfase.

Huso Mitótico y División Celular:

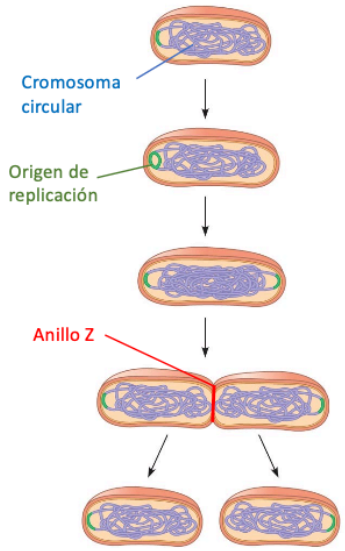
- Durante la división celular, los centrosomas se duplican y migran hacia los polos opuestos de la célula.
- Los microtúbulos que emergen de los centrosomas forman el **huso mitótico**, una estructura esencial para:
- **Separar los cromosomas** durante la mitosis (anafase).
- Anclar los cinetocoros (estructuras en los cromosomas) para el movimiento cromosómico.
- El huso mitótico asegura la distribución equitativa de los cromosomas entre las células hijas.



Observación Microscópica:

- En la imagen se puede observar la disposición de los microtúbulos y los centriolos en las células. Estas estructuras son visibles solo bajo el microscopio electrónico, mostrando su disposición altamente organizada. Estos microtúbulos no solo participan en la división celular, sino que también forman vías para el transporte intracelular y contribuyen a la forma y organización celular.

⇒ MITOSIS: FASES Y SIGNIFICADO FUNCIONAL



Diferencias Clave

1. **Organización del ADN**:
   - La mitosis implica la separación de cromosomas lineales empaquetados en un núcleo.
   - En la fisión binaria, el cromosoma circular está libre en el citoplasma.
2. **Mecanismos de Separación**:
   - En la mitosis, el **huso mitótico** es esencial para mover los cromosomas.
   - En la fisión binaria, no hay huso; el ADN se separa mientras la célula se alarga.

3. **Objetivo Biológico**:
   - La mitosis ocurre tanto para **crecimiento** como para **reparación**.
   - La fisión binaria es exclusivamente para **reproducción**.
4. **Velocidad y Complejidad**:
   - La fisión binaria es más rápida y menos compleja, adecuada para bacterias.
   - La mitosis es un proceso regulado y más lento, adaptado a células especializadas.

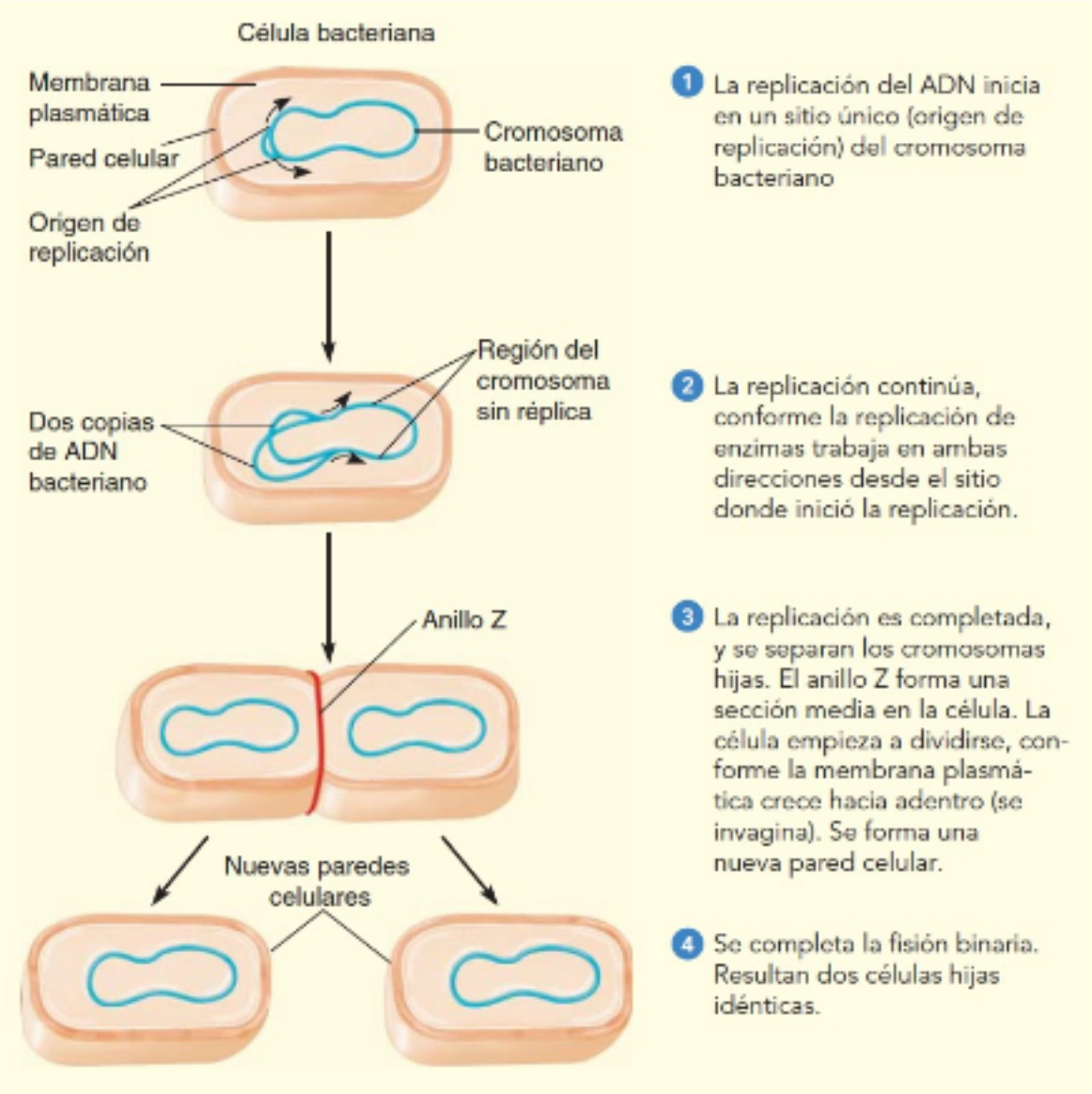
Similitudes:

1. Ambos procesos producen células hijas **genéticamente idénticas** (a excepción de mutaciones).
2. Implican la **replicación previa del ADN**.
3. Aseguran la continuidad genética, vital para la supervivencia de las especies.

Comparación entre Mitosis (Eucariotas) y Fisión Binaria (Procariotas):

ASPECTO	MITOSIS (EUCARIOTAS)	FISIÓN BINARIA (PROCARIOTAS)
Organismos	Ocurre en células eucariotas (animales, vegetales, hongos y protistas).	Ocurre en procariotas (bacterias y arqueas).
Material Genético	Varios cromosomas lineales organizados en un núcleo.	Un solo cromosoma circular ubicado en el citoplasma (nucleoide).
Fases	Se divide en fases bien definidas: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.	No tiene fases definidas; el proceso es continuo (replicación, separación y división).
Lugar del ADN	El ADN está dentro del núcleo, protegido por la membrana nuclear.	El ADN está libre en el citoplasma (sin membrana nuclear).
Replicación del ADN	El ADN se replica durante la fase S de la interfase, antes de la mitosis.	La replicación del ADN inicia en un punto específico: el origen de replicación.
Separación del ADN	Los cromosomas se separan mediante el huso mitótico, compuesto de microtúbulos.	Los cromosomas replicados se separan mediante la elongación celular y mecanismos simples.
División del Citoplasma	Ocurre en la etapa de citocinesis, con la formación de un surco de segmentación (células animales) o una placa celular (células vegetales).	El anillo Z, formado por proteínas (como FtsZ), invagina la membrana plasmática.
Complejidad	Proceso más complejo, con regulación precisa y participación de múltiples orgánulos (como los centriolos).	Proceso simple y rápido, ideal para la reproducción eficiente.
Velocidad	Más lento, especialmente en organismos multicelulares donde la regulación es crucial.	Más rápido, favoreciendo tasas altas de reproducción.
Finalidad Principal	- Crecimiento y desarrollo en organismos multicelulares. - Reemplazo de células dañadas o envejecidas.	Reproducción asexual para aumentar el número de individuos en una población.
Resultado Final	Dos células hijas genéticamente idénticas con núcleos y orgánulos bien definidos.	Dos células hijas genéticamente idénticas sin núcleo, pero con ADN circular duplicado.

⇒ DETALLE DEL PROCESO DE FISIÓN BINARIA EN PROCARIOTAS



⇒ SIGNIFICADO FUNCIONAL DE LA MITOSIS

La mitosis es fundamental para el mantenimiento de la vida en organismos eucariotas multicelulares y tiene un rol crucial en diversos procesos biológicos. A continuación, se detalla su significado funcional:

1. **Mecanismo de Crecimiento Biológico**:
   - La mitosis permite el crecimiento de los organismos multicelulares **sin pérdida de información genética**.
   - Esto es esencial para mantener la funcionalidad y la identidad genética de las células en tejidos y órganos.

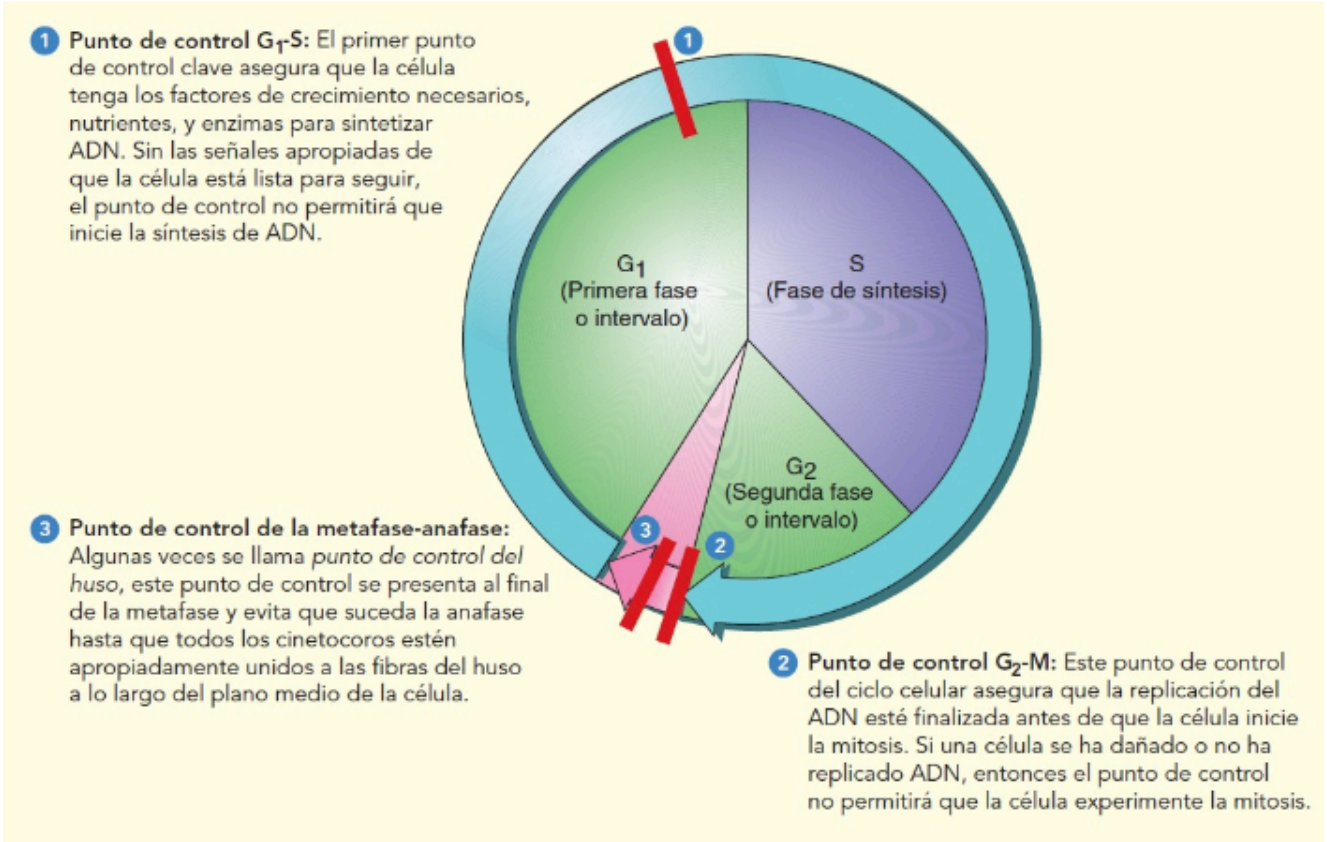
2. **Transmisión Exacta de Material Genético**:
   - Las células hijas reciben **el mismo número y tipo de cromosomas** que la célula parental.
   - Esto asegura la continuidad genética y permite que las células funcionen de manera adecuada.

3. **Control de Errores**:
   - Si ocurre un error durante la mitosis (por ejemplo, una mala segregación de los cromosomas), normalmente la célula hija no sobrevive.
   - Esto previene la transmisión de material genético defectuoso.

4. **Regulación del Ciclo Celular**:
   - El ciclo celular está controlado por una serie de moléculas reguladoras (cinasas dependientes de ciclina o CDK, ciclinas) que aseguran el correcto avance de cada fase.
   - Este **sistema de control del ciclo celular** garantiza que la mitosis solo ocurra cuando las condiciones son ideales.

5. **Consecuencias de Fallos en la Regulación**:
   - Un fallo en el sistema de control del ciclo celular puede resultar en:
   - **Crecimiento celular descontrolado**.
   - Formación de tumores y **cáncer**.
   - Por ello, la mitosis está estrechamente vinculada al mantenimiento de la homeostasis y al equilibrio celular.

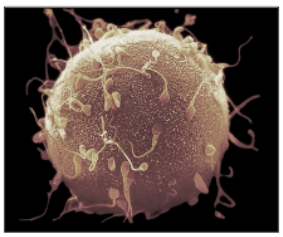
Importancia General:
La mitosis no solo es vital para el crecimiento, sino también para:
- **Reparación de tejidos**: Regeneración de células perdidas o dañadas.
- **Reproducción asexual**: En organismos unicelulares y algunos multicelulares.
- **Renovación celular constante**: Por ejemplo, en tejidos como la piel o el epitelio intestinal.



⇒ REPRODUCCIÓN ASEXUAL VS REPRODUCCIÓN SEXUAL

Reproducción Asexual:

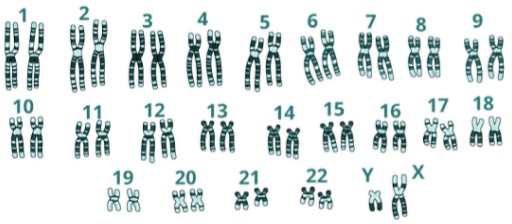
- Los organismos producen **copias genéticamente idénticas** entre sí y al progenitor (clones).
- Se realiza mediante procesos como la **mitosis**, que asegura la transmisión exacta del material genético.
- Común en organismos unicelulares y en algunos multicelulares (por ejemplo, la reproducción vegetativa en plantas).



Reproducción Sexual:

- Genera descendientes que comparten rasgos genéticos con ambos progenitores, pero son **genéticamente diferentes** debido a la **variación genética**.
- Implica la fusión de dos células sexuales especializadas o **gametos**.
- El proceso de formación de gametos utiliza la **meiosis**, una división celular que reduce el número de cromosomas a la mitad.

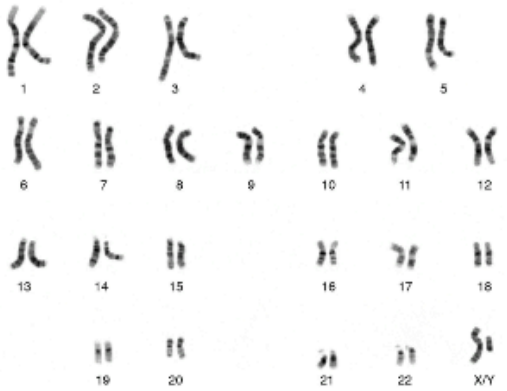
Células Diploides y Haploides
Diploidía (2n):





- En células somáticas (no sexuales), los cromosomas están organizados en pares homólogos.
- En humanos, hay **46 cromosomas** (23 pares homólogos).
- Cada par contiene **cromosomas homólogos**: uno heredado del padre y otro de la madre.
- Los cromosomas homólogos contienen información sobre los mismos rasgos genéticos, pero no son idénticos.

Haploidía (n):



- Los gametos (óvulos y espermatozoides) son **haploides**, es decir, tienen solo un conjunto de cromosomas.
- En humanos, cada gameto tiene **23 cromosomas**.
- La unión de dos gametos durante la fecundación forma un **cigoto diploide** (2n = 46), que dará lugar a un nuevo organismo.

Relación con el Ciclo Sexual:

1. **Meiosis**:
   - Permite la formación de gametos haploides, reduciendo el número cromosómico a la mitad.
   - Introduce variabilidad genética mediante procesos como el entrecruzamiento (crossing-over).
2. **Fecundación**:
   - Fusiona dos gametos haploides para formar un **cigoto diploide**.
   - Esto asegura la combinación genética de ambos progenitores en la descendencia.

Conclusión

La reproducción asexual utiliza **mitosis** para producir clones, mientras que la reproducción sexual utiliza **meiosis** para garantizar la variabilidad genética y la estabilidad del número cromosómico en cada generación.

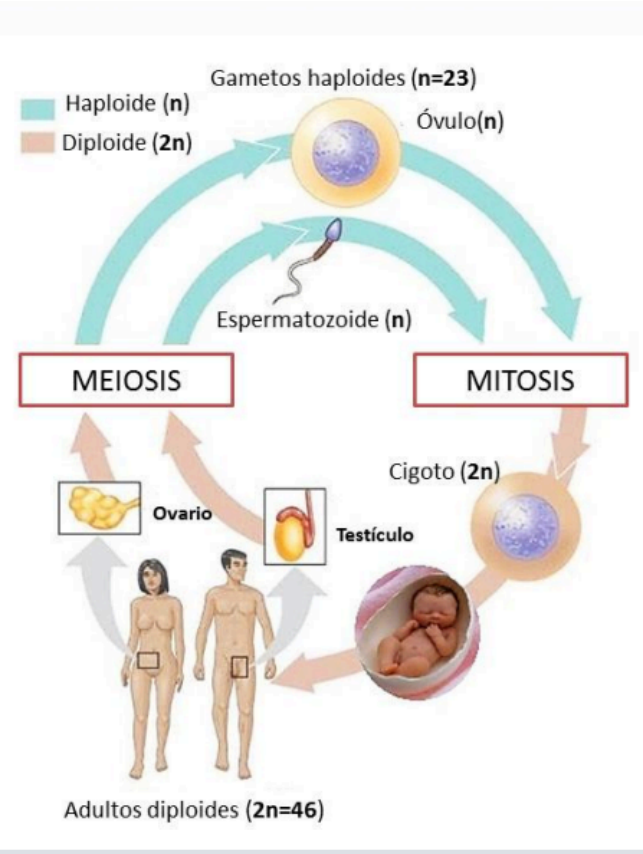
⇒ MEIOSIS: FASES Y SIGNIFICADO FUNCIONAL

La **meiosis** es un proceso de división celular exclusivo de los gametos que asegura la reducción del número de cromosomas a la mitad. Esto es esencial para mantener la estabilidad del material genético en organismos que se reproducen sexualmente.

Diferencias con la Mitosis

1. **Número de células hijas**: Una célula parental diploide genera **cuatro células hijas haploides** en la meiosis. En la mitosis, una célula genera solo **dos células hijas diploides**.
2. **Tipo de células**: La célula parental en meiosis es **diploide** (2n), pero las células hijas son **haploides** (n). En la mitosis, tanto la célula parental como las hijas son diploides.
3. **Variabilidad genética**: En meiosis, las células hijas tienen combinaciones de genes **únicas**, gracias a:
   - **Entrecruzamiento (crossing-over)** durante la profase I.
   - **Distribución independiente** de cromosomas homólogos en la anafase I.

   En la mitosis, las células hijas son genéticamente **idénticas** a la célula madre.

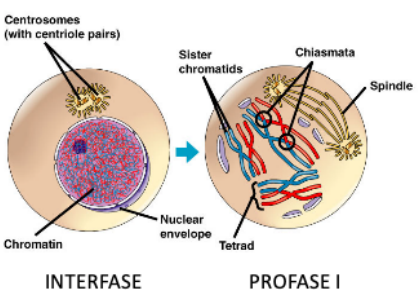


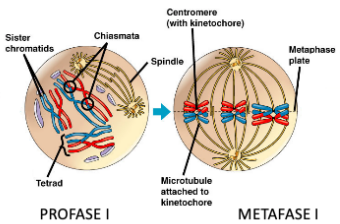
FASES DE LA MEIOSIS

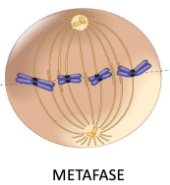
La meiosis consta de **dos divisiones celulares sucesivas**, denominadas **Meiosis I** y **Meiosis II**, cada una con cuatro etapas principales.

1. Meiosis I (División reductora): Reduce el número de cromosomas a la mitad, separando los cromosomas **homólogos**.

- **Profase I**: Ocurre el entrecruzamiento (intercambio de segmentos entre cromátidas homólogas). Los cromosomas homólogos se emparejan (sinapsis) formando **tétradas**.







- **Metafase I**: Las tétradas se alinean en el plano ecuatorial de la célula.
- **Anafase I**: Los cromosomas homólogos se separan y migran hacia los polos opuestos.

- **Telofase I**: Se forman dos núcleos haploides con cromosomas duplicados. La citocinesis completa la división en dos células hijas haploides.

2. Meiosis II (División ecuacional): Similar a la mitosis, separa las **cromátidas hermanas** de cada cromosoma.

- **Profase II**: Comienza sin duplicación del ADN previa. Se forma un nuevo huso mitótico.
- **Metafase II**: Los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial.
- **Anafase II**: Las cromátidas hermanas se separan y migran hacia polos opuestos.
- **Telofase II**: Se forman cuatro núcleos haploides. La citocinesis produce cuatro células hijas haploides.

Significado Funcional

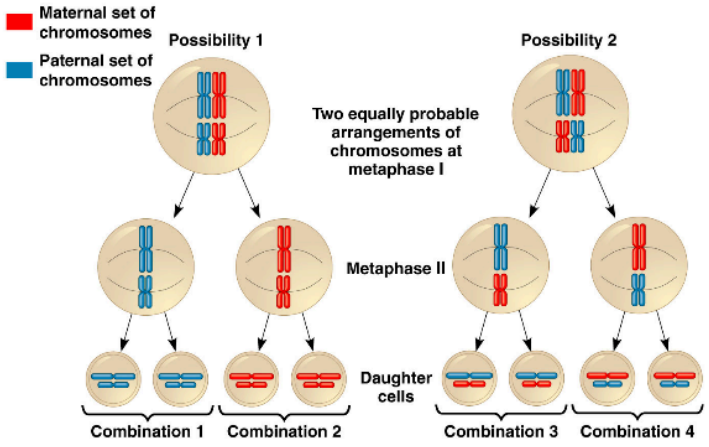
1. **Reducción del número de cromosomas**:
   - Mantiene el número cromosómico constante en generaciones sucesivas de organismos sexuales.
   - Evita que el cigoto tenga un número duplicado de cromosomas tras la fecundación.
2. **Variabilidad genética**:
   - Introduce variación genética mediante el entrecruzamiento y la segregación independiente de cromosomas.
   - Esta variación es clave para la evolución y la adaptación de las especies.
3. **Producción de gametos**:
   - Genera células especializadas (óvulos y espermatozoides) para la reproducción sexual.

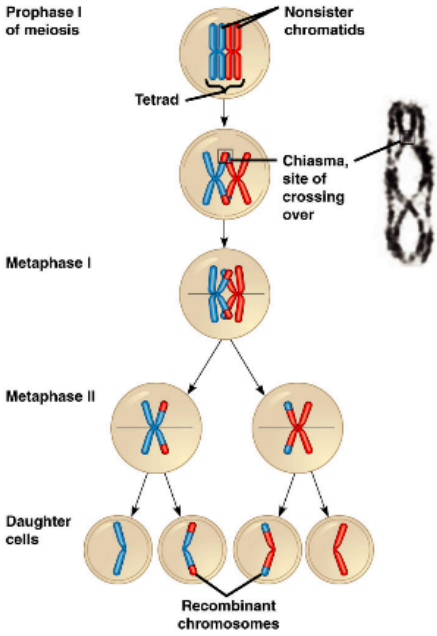
⇒ GENERACIÓN DE VARIABILIDAD GENÉTICA EN LA MEIOSIS

La meiosis produce **cuatro células haploides** con combinaciones genéticas únicas, gracias a dos fenómenos clave:

1. Entrecruzamiento (Crossing-Over)

- **Ocurre en la Profase I**: Los cromosomas homólogos se aparean (formando tétradas) y las cromátidas no hermanas intercambian fragmentos de ADN en puntos específicos llamados **quiasmas**. Este intercambio genera **cromosomas recombinantes**, que contienen una mezcla de genes paternos y maternos.





- **Importancia**: Introduce una nueva combinación de alelos en los cromosomas, aumentando la diversidad genética.

2. Distribución Independiente de Cromosomas

- **Ocurre en la Metafase I y Anafase I**: Los pares de cromosomas homólogos (uno de origen paterno y otro de origen materno) se alinean en el plano ecuatorial de forma **aleatoria**. Esto significa que cada célula hija puede recibir cualquier combinación de cromosomas paternos y maternos.
- **Resultado**: Genera múltiples combinaciones posibles de cromosomas en las células hijas. Por ejemplo, en humanos con 23 pares de cromosomas, hay **2^{23} combinaciones posibles**, sin incluir los efectos del entrecruzamiento.

Significado Funcional de la Meiosis

1. **Unicidad Genética**: Cada individuo es genéticamente único debido a las combinaciones generadas por el entrecruzamiento y la distribución independiente.
2. **Variabilidad Genética**: Proporciona a las poblaciones una mayor capacidad para adaptarse a cambios ambientales. Aunque algunos individuos puedan no sobrevivir, la variabilidad aumenta la probabilidad de que otros lo hagan, favoreciendo la evolución.
3. **Ventajas de la Reproducción Sexual**: El sexo está ampliamente distribuido en el árbol de la vida porque la combinación de genes de dos progenitores genera variación, lo cual es **evolutivamente ventajoso**. Este proceso asegura que la descendencia no solo sea diferente de sus progenitores, sino que también tenga una mayor probabilidad de sobrevivir y prosperar en ambientes cambiantes.

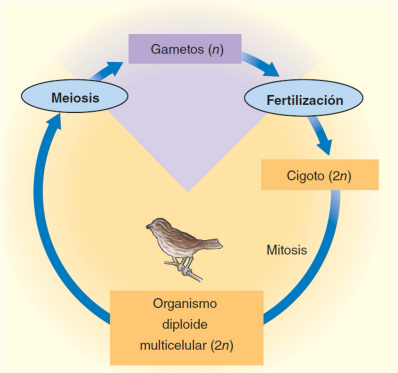
⇒ CICLOS DE VIDA

Los **ciclos de vida** describen cómo las diferentes formas de vida utilizan estrategias reproductivas distintas basadas en sus ciclos celulares. Veamos cuales son éstos:

1. Gametogénesis: Es el proceso de formación de **gametos** (células sexuales haploides) a partir de las células germinales diploides en las gónadas (testículos y ovarios).

Tipos principales:

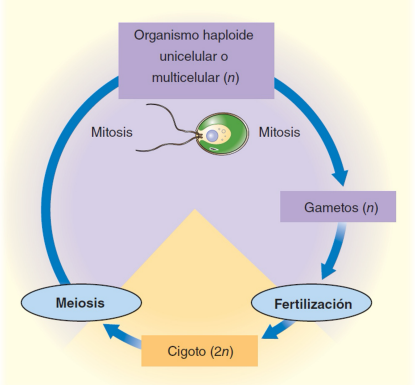
- **Espermatogénesis**: Formación de espermatozoides en los testículos.
- **Ovogénesis**: Formación de óvulos en los ovarios.



2. Ciclo Diploide: Corresponde a los **animales**.

Características:

- Las células somáticas son **diploides** (2n), mientras que los gametos son **haploides** (n). Es un ciclo **sencillo**, ya que solo los gametos son haploides y el resto del organismo es diploide.

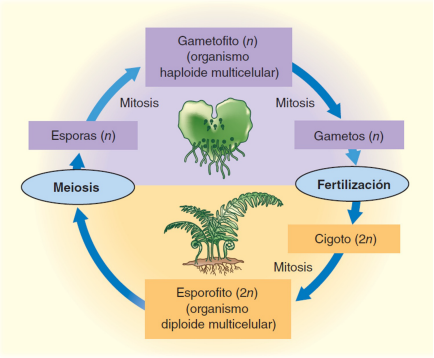


3. Ciclo Haploide: Es el común en **hongos y protistas**.

Características:

- Tanto las células somáticas como los gametos son **haploides** (n). Puede incluir organismos unicelulares o multicelulares. Este ciclo también es **sencillo**, ya que no hay alternancia entre estados diploides y haploides.

4. Ciclo Haplodiploide: Corresponde a **plantas** y algunos organismos con alternancia de generaciones.



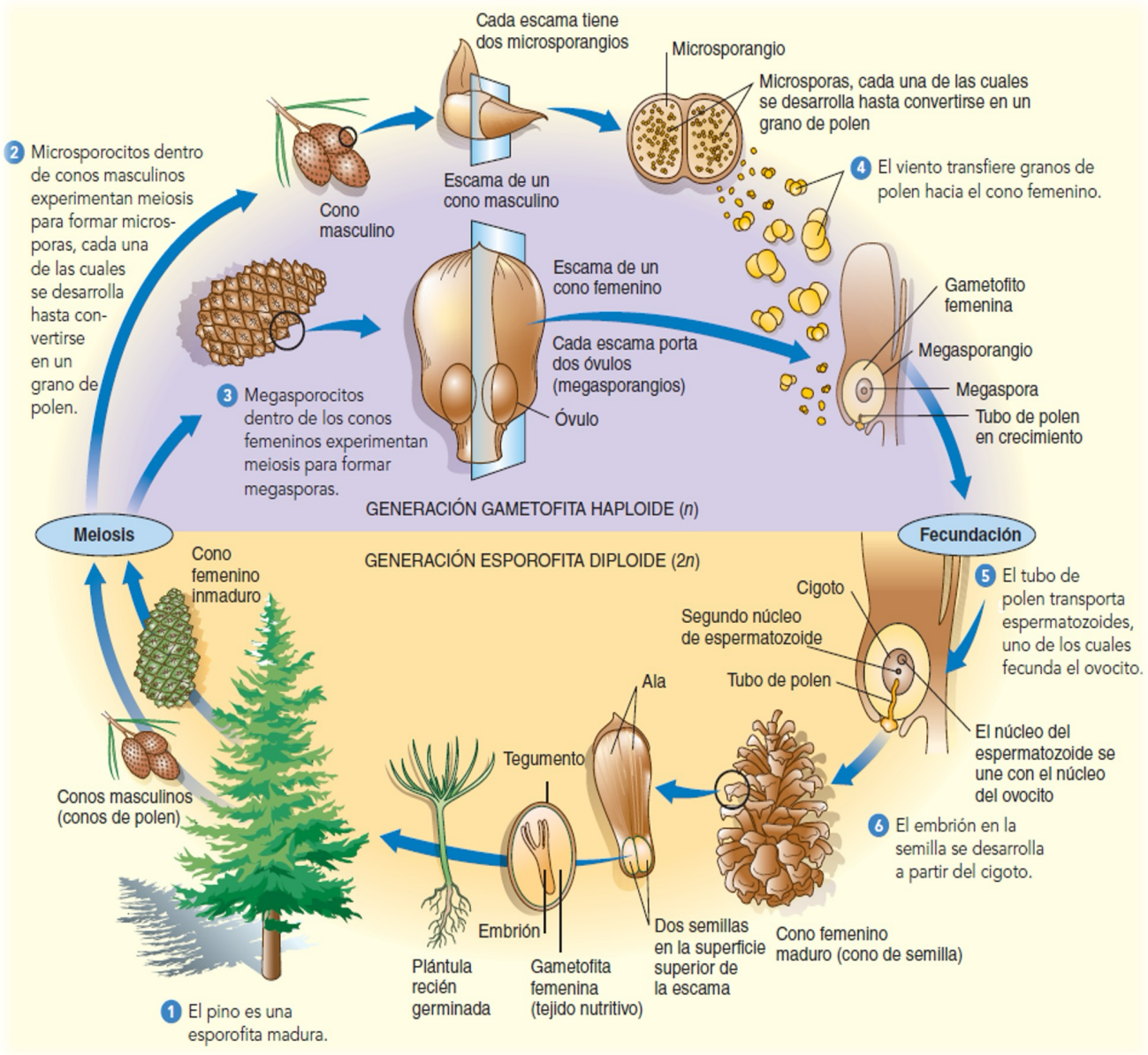
Características:

- ❖ **Alternancia de generaciones** entre:
  - **Gametófito** (haploide, n): Produce gametos y lleva a cabo la reproducción sexual.
  - **Esporófito** (diploide, 2n): Produce esporas mediante meiosis, participando en la reproducción asexual.

Ambas generaciones (haploide y diploide) son multicelulares. Es un ciclo **complejo**, ya que combina reproducción sexual y asexual.

Resumen General

- **Ciclo diploide**: Común en animales, sencillo.
- **Ciclo haploide**: Propio de hongos y protistas, sencillo y directo.
- **Ciclo haplodiploide**: Característico de plantas, complejo por la alternancia de generaciones.



Comparación entre Ciclo Diploide, Haploide y Haplodiploide

ASPECTO	CICLO DIPLOIDE	CICLO HAPLOIDE	CICLO HAPLODIPLOIDE
ORGANISMOS	Animales	Hongos, protistas	Plantas y algunos protistas
Estado principal	Diploide (2n): las células somáticas	Haploide (n): células somáticas y gametos	Alterna entre diploide (esporófito) y haploide (gametófito)
Generación multicelular	La generación diploide es multicelular	La generación haploide es multicelular	Tanto el esporófito (2n) como el gametófito (n) son multicelulares
Reproducción sexual	Gametos haploides (n) se forman por meiosis en organismos diploides	Gametos haploides (n) se forman directamente de mitosis en el organismo haploide	Gametófito haploide (n) produce gametos por mitosis
Reproducción asexual	No corresponde	Ocasionalmente mediante esporas haploides	Esporófito diploide (2n) produce esporas haploides por meiosis
Meiosis	Produce gametos haploides directamente	Ocurre después de la formación del cigoto para generar células haploides	Produce esporas haploides que dan origen al gametófito
Fertilización	Fusión de dos gametos haploides forma un cigoto diploide (2n)	Forma un cigoto diploide, que inmediatamente sufre meiosis para restaurar el estado haploide	Fusión de gametos produce un cigoto diploide que se desarrolla en un esporófito
Diversidad genética	Se genera en los gametos por meiosis	Se genera en el cigoto por meiosis	Se genera tanto en las esporas como en los gametos
Ciclo complejo/sencillo	Sencillo: solo un estado dominante (diploide)	Sencillo: solo un estado dominante (haploide)	Complejo: alterna entre generaciones haploides y diploides