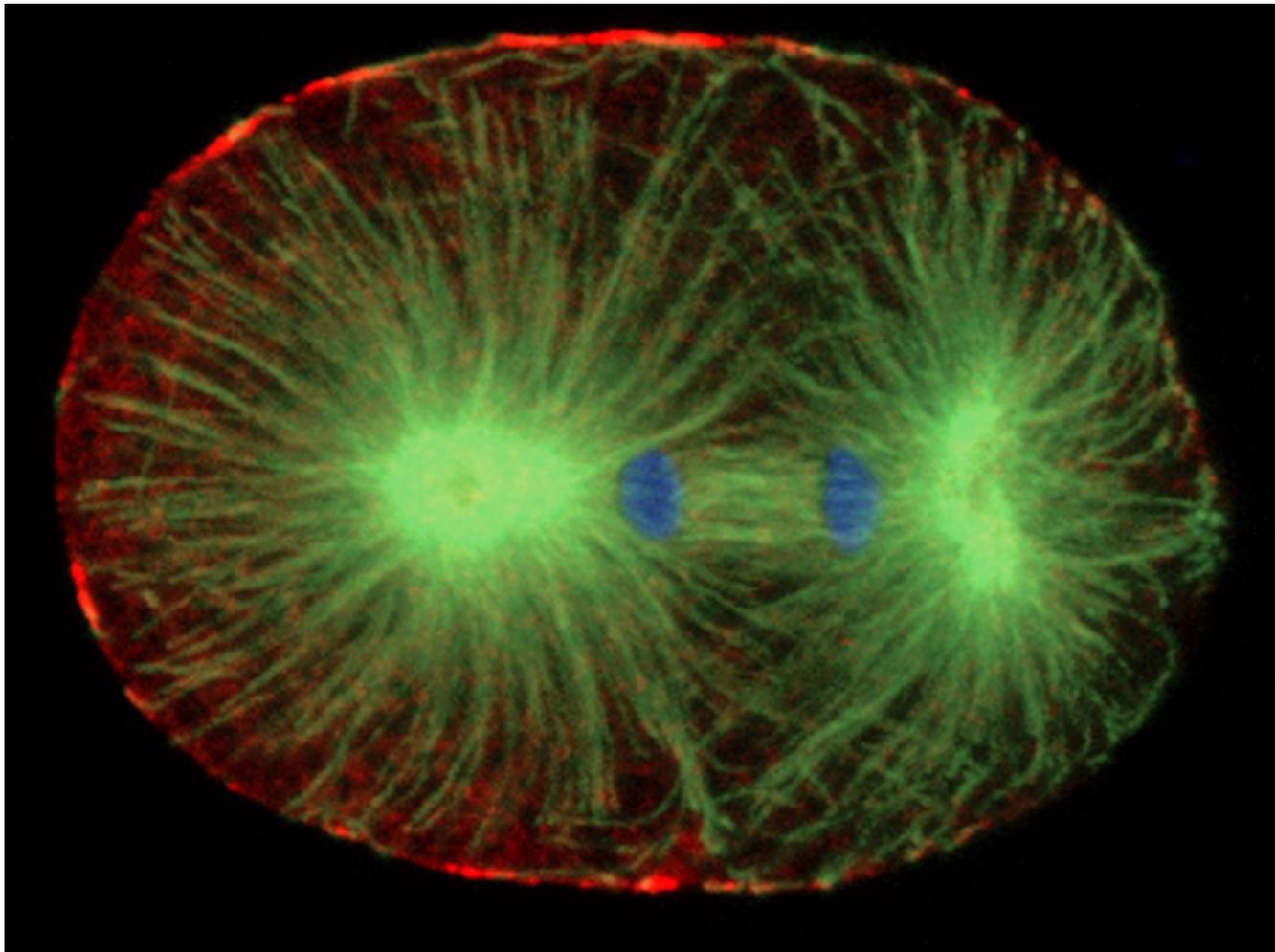


TEMA 2.5: LA REPRODUCCIÓN CELULAR

- 1- EL CICLO CELULAR
 - 2- LA INTERFASE
 - 3- LA DIVISIÓN CELULAR
 - 3.1 CARIOCINESIS
 - 3.2 CITOCINESIS
 - 4- LA MEIOSIS
 - 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MEIOSIS
 - 4.2 IMPORTANCIA BIOLÓGICA
-

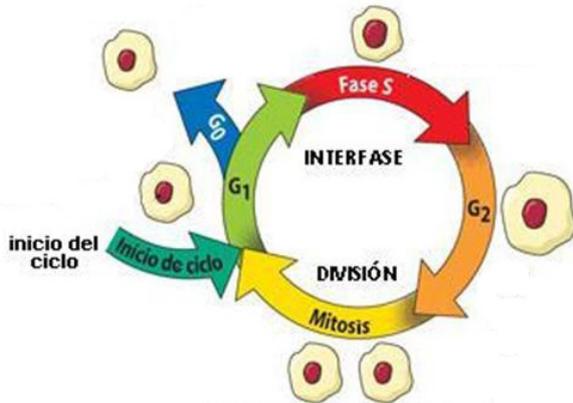


El huso mitótico separa los cromosomas en la anafase mitótica

1- EL CICLO CELULAR

El ciclo celular comprende el periodo de tiempo en que nace una célula por división, hasta que se vuelve a dividir para formar nuevas células. Se observan dos etapas principales:

1- **Interfase:** se trata de la etapa de mayor duración y es la que la célula presenta un núcleo interfásico con sus estructuras características. El metabolismo es muy activo y comprende tres fases: G₁, S y G₂.



2- **División:** es una etapa corta (una décima parte del anterior), en el que la célula se divide y presenta cromosomas. Consta de una única fase M subdividida a su vez en cariocinesis o mitosis, y citocinesis. El metabolismo es mínimo y la actividad celular se reduce al reparto de ADN entre las células hijas.

Las causas por las que una célula se divide en un organismo pluricelular va a depender del tipo celular al que pertenezca. Sin embargo, hay una serie de factores que

pueden determinar un incremento de la división celular:

- **Factores internos:** el aumento del tamaño del citoplasma hace que la relación **nucleoplasmática** (RNP) o la relación **superficie/volumen** (la superficie crece al cuadrado del radio mientras que el volumen lo hace al cubo, por lo que los intercambios se hacen insuficientes) se haga inferior a un valor y se active la división.
- **Factores externos** como la disponibilidad de espacio en los bordes o de un anclaje a una superficie y la presencia de determinadas sustancias químicas como factores de crecimiento o agentes mitógenos (hormonas básicamente).

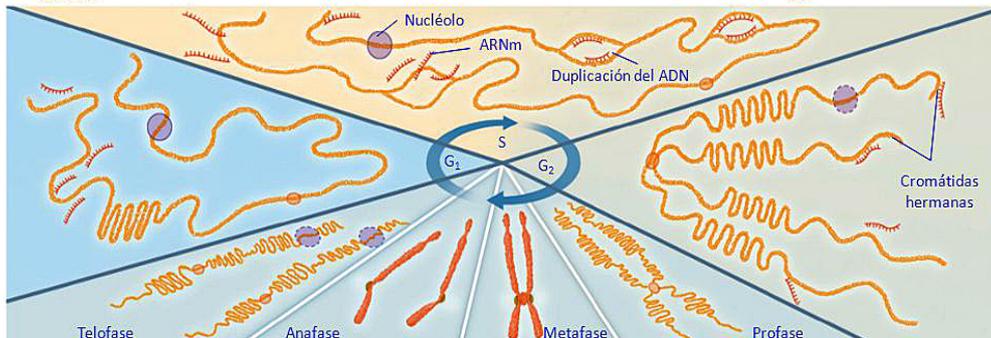
Hay ocasiones en el que la célula muere en vez de dividirse. Si la muerte celular no es accidental (como sí pasa en el caso de la **necrosis**), sino que es programada, se realiza por un proceso de autólisis que se denomina **apoptosis**. La célula pierde agua, se arruga y se forman unas burbujas características. Después, enzimas hidrolíticas de sus lisosomas cortan el ADN y fragmentan el núcleo para al final escindir el citoplasma en pedazos recubiertos de membrana que son fagocitados por macrófagos.

2- LA INTERFASE

Fases que abarcan la interfase:

1. **Fase G₁:** es la de duración más variable. Corresponde al estado celular en que se realizan las funciones habituales por lo que se sintetiza ARNm y, por tanto, proteínas. Al final se llega a un punto R de no retorno, por lo que se pasa a la siguiente fase. En los organismos pluricelulares, se expresan algunos genes concretos, por lo que se convierten en células especializadas en un proceso que se denomina **diferenciación celular**. Pueden permanecer así mucho tiempo hasta alcanzar el punto R, por acción de activadores mitóticos (hormonas). Las células más especializadas como neuronas y fibras musculares esqueléticas y cardíacas se detienen en una fase G₀, por lo que no se dividen nunca.

2. **Fase S:** se produce la duplicación del ADN. También hay síntesis de ARNm y de proteínas histonas.
3. **Fase G₂:** es la preparación de la mitosis, por lo que comienza la condensación del ADN. Continúa la síntesis de ARNm y la síntesis de histonas y tubulina para el huso mitótico.



3- LA DIVISIÓN CELULAR

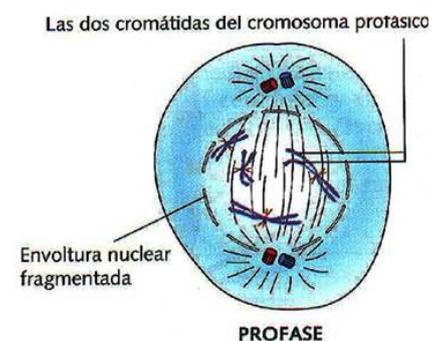
Es un proceso que garantiza a las células hijas un reparto equitativo de material celular y genético, de tal modo que tienen la misma dotación cromosómica que la progenitora. Consta de dos fases la **cariocinesis** (o mitosis propiamente dicha), consistente en la división del núcleo y la **citocinesis**, correspondiente a la división del citoplasma.

La mitosis, además de ser un sistema para la reproducción asexual en organismos unicelulares y pluricelulares, en estos últimos se produce en procesos como el crecimiento, el desarrollo y la regeneración de los tejidos.

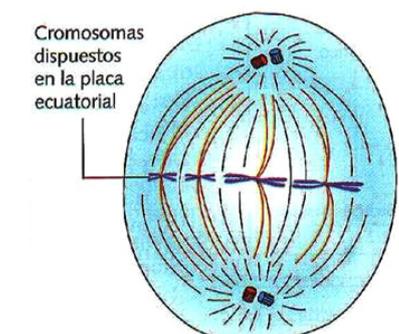
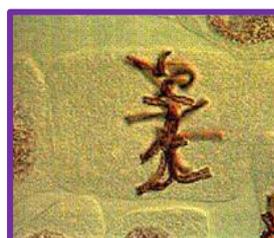
3.1 LA CARIOCINÉISIS O MITOSIS

En esta etapa, se produce el reparto de las dos copias del ADN (las **cromátidas** en cada cromosoma) generadas previamente en la fase S para obtener dos núcleos con una copia del ADN cada uno. Es un proceso continuo pero que a efectos descriptivos se puede dividir en cuatro fases:

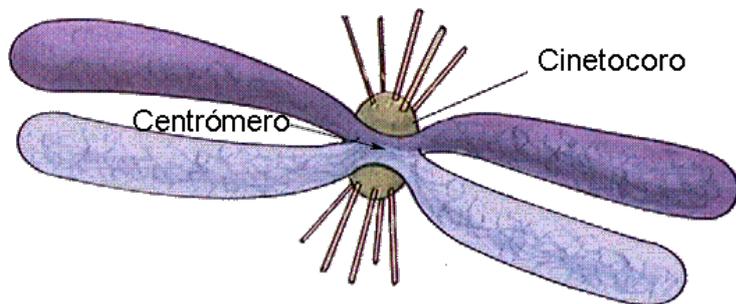
1. **Profase.** En esta etapa inicial, el ADN se condensa, lo que hace que comiencen a visualizarse los cromosomas a la vez que se desorganizan y desaparecen la envoltura nuclear y el nucleolo. En las células animales, se produce la duplicación de los diplosomas situados en los polos de la células e inician la formación del huso mitótico.



2. En la **metafase** los cromosomas se encuentran en el máximo grado de empaquetamiento y se sitúan en la zona ecuatorial de la célula, constituyendo la **placa ecuatorial**. Tienen forma de X y poseen dos cromátidas cada uno. El **huso mitótico** finaliza su formación y es generado por los diplosomas en las

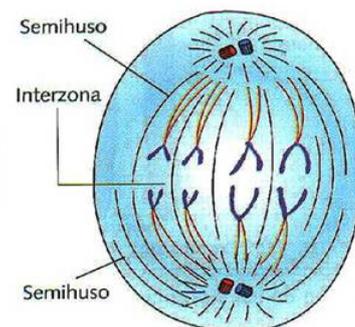


células animales. Está formado por fibras contráctiles de actina y tubulina, que pueden ser de dos tipos:

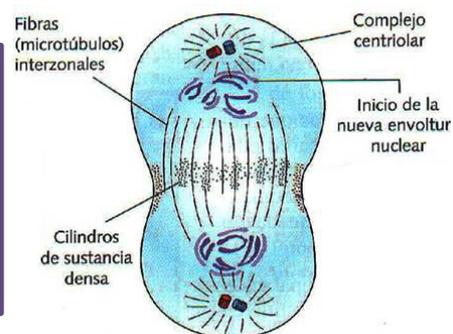


- **Continuas:** van de polo a polo.
- **Cromosómicas:** van de los cromosomas a cada polo. Se unen al cromosoma a nivel del centrómero mediante una estructura proteica con microtúbulos que se denomina **cinetocoro**.

3. La **anafase** se inicia con la rotura de los centrómeros de los cromosomas metafásicos, lo que provoca la separación de las dos cromátidas hermanas que los integran. Cada cromátida (un cromosoma anafásico) migra a cada uno de los polos celulares. El responsable de esta migración es el huso mitótico, dado que las fibras cromosómicas tiran de los cromosomas por despolimerización de la tubulina, a la vez que unas fibras nuevas, las **interzonales** situadas entre los cromosomas, las empujan por polimerización.



4. La **telofase** comienza una vez que los cromosomas terminan su desplazamiento y se encuentran en los polos. Posteriormente, comienzan a descondensarse para volver a ser fibras de cromatina. Esto favorece la regeneración del nucléolo a partir de las regiones organizadoras de éstos en el ADN. La envoltura nuclear se regenera a partir de la lámina fibrosa producida por sáculos del retículo endoplasmático, por lo que se forman ya dos núcleos hijos. Por otra parte, el huso mitótico se desorganiza y queda sólo el diplosoma.



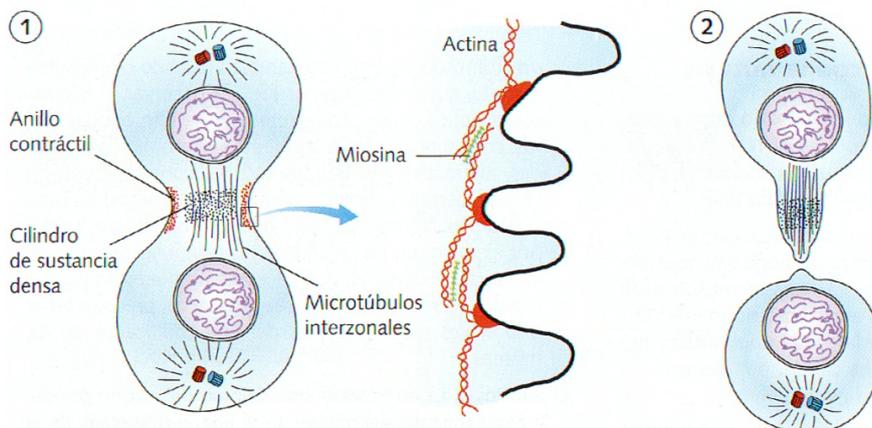
El hecho de que en las células vegetales el huso mitótico no se forme a partir del centrosoma hace que se considere en este caso una mitosis **anastral**, mientras que en las células animales, en que el huso se forma a partir de éste orgánulo, la mitosis es **astral**.

3.2 LA CITOCINÉISIS

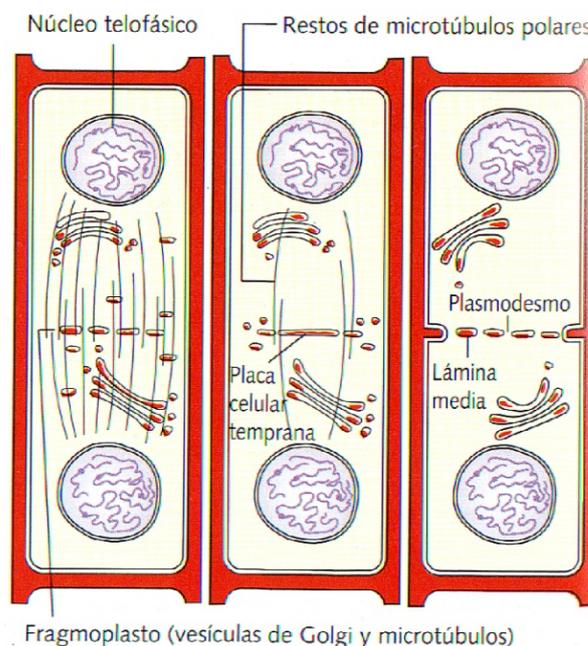
Consiste en el reparto del material citoplasmático. Es un proceso más sencillo dado que el reparto no ha de ser estrictamente equitativo. Existen dos modalidades, en función del tipo de mitosis:

- **Por estrangulamiento:** es propio de células animales, cuya membrana es flexible. Se produce una invaginación de la membrana plasmática a nivel del plano ecuatorial

(el surco de división), gracias a la acción de un **anillo contráctil** interno, compuesto de polímeros de actina, que se va haciendo cada vez más pequeño.



- **Por tabicación o septación:** se produce en las células vegetales (y de algunas algas), cuya pared celular rígida les impide el estrangulamiento, por lo que se forma un tabique en el plano ecuatorial. Este tabique se origina a partir de una alineación de vesículas originadas en el aparato de Golgi que se fusionan dando origen a un tabique de separación denominado **fragmoplasto**. Las membranas de las vesículas generan las membranas plasmáticas de las células hijas, mientras que sus contenidos originan la lámina media que, tras la adición de celulosa, constituirá la pared celular que separará las células hijas.



4- LA MEIOSIS

En la reproducción o generación de nuevos individuos se pueden definir dos modalidades:

- **Asexual:** los descendientes son genéticamente iguales, salvo en casos de mutación. Las células del nuevo individuo se originan por mitosis.
- **Sexual:** los descendientes son genéticamente diferentes de su progenitor o progenitores, aunque similares. Se producen a partir de las células reproductoras sexuales, originadas en una división celular que se denomina **meiosis**, en la que se combinan al azar genes de cromosomas homólogos y se reduce la dotación a la mitad.

Las células sexuales son aquellas que se encuentran especializadas en la reproducción sexual. Pueden ser de dos tipos:

- **Meiosporas:** células generadas por meiosis que originan directamente un individuo por divisiones mitóticas. Son propios de organismos con ciclo diplohaplonte, como hongos, algas y plantas.

- **Gametos:** células sexuales haploides que generan un nuevo individuo cuando se fusionan dos de ellas (de distinto sexo y de dos individuos distintos por tanto). Se produce en todos los organismos eucariontes. Una excepción es la **partenogénesis**, en que se genera un individuo a partir de un sólo gameto.

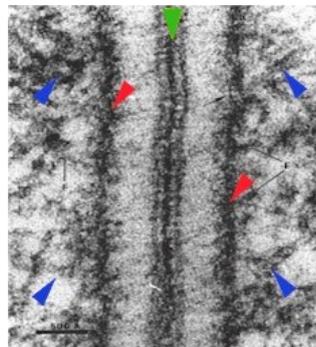
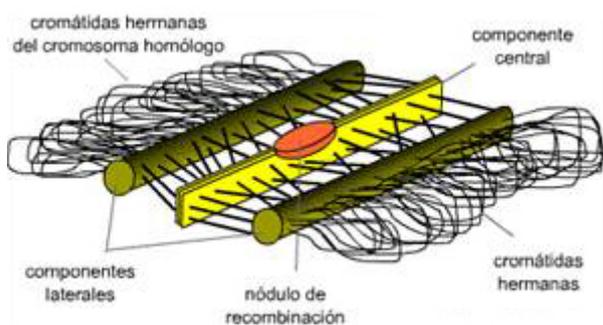
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MEIOSIS

La meiosis comprende dos divisiones sucesivas: la primera división meiótica o **reduccional**, en la que las células hijas ya tienen la mitad de cromosomas que la progenitora y la segunda división meiótica o ecuacional. Previamente, sólo ha habido una duplicación del ADN, por lo que de una célula diploide se obtienen cuatro células haploides. Esto es importante pues tras la fecundación se ha de reestablecer la dotación cromosómica diploide para mantener constante el número cromosómico de la especie a lo largo de las generaciones.

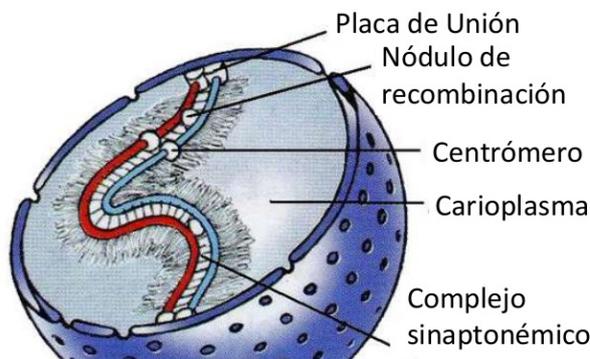
Primera división meiótica.

Consta de cuatro fases como las de la mitosis. La más larga y compleja es la **profase I**. En esta fase, de larga duración (puede durar meses o años), los dos cromosomas homólogos se juntan en un par denominado **bivalente o tétrada**. Se definen a su vez cinco fases:

1. **Leptoteno:** el ADN se condensa para generar los cromosomas, formados cada uno por dos cromátidas hermanas.
2. **Zigoteno:** los cromosomas homólogos se aparean gen a gen gracias a una estructura proteica en escalera que se denomina **complejo sinaptonémico**.

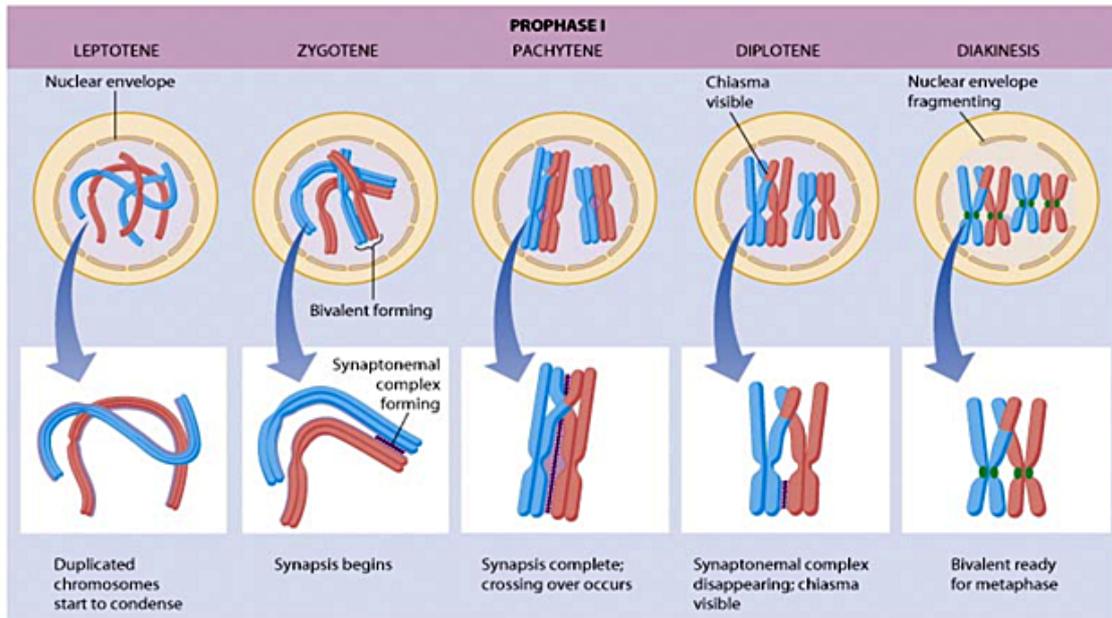


3. **Paquiteno:** los cromosomas se encuentran en **sinapsis** (cromátidas de los cromosomas íntimamente unidas) y es en esta fase cuando se produce el **sobrecruzamiento** (o *crossing over*), consistente en un intercambio de fragmentos cromosómicos entre cromátidas no hermanas (una de cada cromosoma homólogo). Se observa a nivel de la recombinación unas estructuras proteicas que son los **nódulos de recombinación** y son responsables de realizar los sobrecruzamientos.

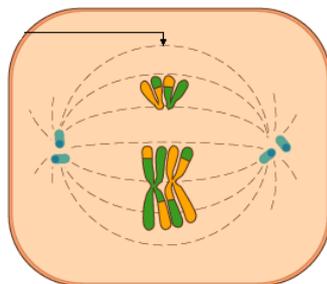


4. **Diploteno:** desaparece el complejo sinaptonémico y se separan los cromosomas homólogos, a excepción de los lugares donde se produjo el sobrecruzamiento, denominados **quiasmas**, que son la expresión citológica del sobrecruzamiento.

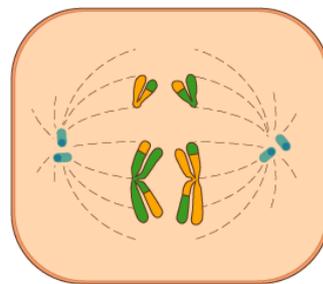
5. **Diacinesis:** los cromosomas se condensan aún más, distinguiéndose las cuatro cromátidas de cada tétrada y los quiasmas.



En la **metafase I**, la tétrada se dispone de tal modo que sus dos centrómeros se sitúan a un lado y a otro de la placa ecuatorial. Al inicio de la **anafase I**, los quiasmas se rompen, por lo que cada cromosoma homólogo, con sus dos cromátidas, migra a cada polo. En la corta **telofase I**, se produce una ligera desespiralización del ADN y es seguida de una citocinesis que origina dos células hijas con la mitad de cromosomas (aunque éstas todavía son dobles).



Metafase I



Anafase I

Segunda división meiótica.

Es parecida a una mitosis, salvo en que cada célula tiene un cromosoma homólogo de cada tipo en vez de dos. Tiene las cuatro fases de toda división y de las dos células anteriores se generan cuatro células haploides. En la metafase II, los centrómeros se rompen, por lo que las cromátidas hermanas se separan y migran a cada polo.

4.2 IMPORTANCIA BIOLÓGICA DE LA MEIOSIS

La reproducción sexual implica la existencia de una división celular por meiosis en alguna etapa de la gametogénesis o proceso de formación de los gametos. La meiosis proporciona una serie de ventajas que hacen que la inmensa mayoría de las especies pluricelulares presenten alguna vez la reproducción sexual. Estas ventajas son las siguientes:

1. **Aumento de la variabilidad genética** de la descendencia, lo que permite que aumente el número de formas adaptables a distintos ambientes y, por tanto, algunos individuos podrán sobrevivir ante cambios del medio ambiente. Este aumento de la variabilidad se debe a las siguientes razones:

- Recombinación al azar de genes de cromosomas homólogos durante el sobrecruzamiento.
- Combinación al azar de los cromosomas durante la gametogénesis o la esporogénesis. Cada una de estas células recibe al azar uno de los dos cromosomas homólogos del progenitor diploide. Esto hace que los gametos sean distintos entre sí.
- En la fecundación también hay influencia del azar, pues de los millones de espermatozoides que se producen en los animales, sólo uno fecunda al óvulo. Por otra parte, se unen dos gametos procedentes de individuos distintos.

2. **Mantenimiento del número de cromosomas** en la descendencia, pues la reducción de la dotación cromosómica es compensada por la fusión de los gametos en la fecundación. Esto permite mantener las ventajas de la diploidía, pues el hecho de tener dos alelos para un gen permite la supervivencia del individuo aunque uno de los dos sea defectuoso. Los alelos perjudiciales e incluso los neutros pueden ser seleccionados a favor en el caso de que cambie el medio y el sentido de la selección natural.

No obstante, la reproducción sexual implica por otra parte una serie de desventajas, especialmente en medios que no cambien mucho y en los que la variabilidad no es una ventaja. Éstos inconvenientes son los siguientes:

- Presenta un mayor gasto energético que la reproducción asexual, derivado de la formación de gametos, el encuentro sexual de dos individuos, la pérdida de numerosos gametos durante la fecundación y el desarrollo embrionario posterior.
- El número de descendientes es menor que en la reproducción asexual, así como su rapidez.
- En un medio poco cambiante, una descendencia variable tiene una menor supervivencia que una población igual, pero con los caracteres muy adaptables al entorno.

MITOSIS	MEIOSIS
Células somáticas y germinales.	Sólo células germinales.
Lo sufren células haploides y diploides.	Sólo lo sufren células diploides.
Una fase S y una división celular.	Una fase S y dos divisiones celulares.
Sin sobrecruzamiento ni quiasmas.	Con sobrecruzamiento y quiasmas.
Durante la anafase se separan las cromátidas hermanas.	Durante la anafase I las cromátidas hermanas emigran juntas hacia los polos.
Origina dos células con mismo número de cromosomas que la progenitora e idénticas (salvo mutación)	Origina cuatro células con la mitad de cromosomas que la progenitora y genéticamente distintas.

