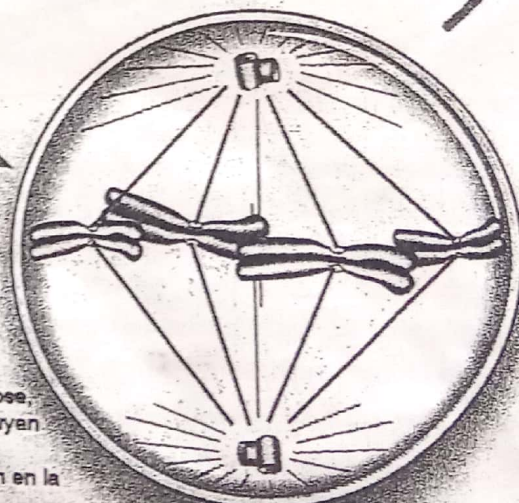
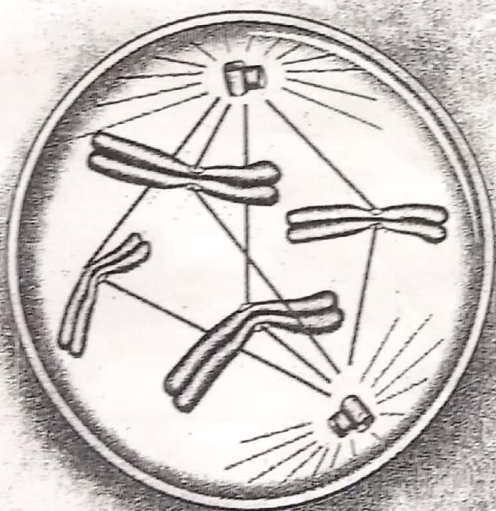
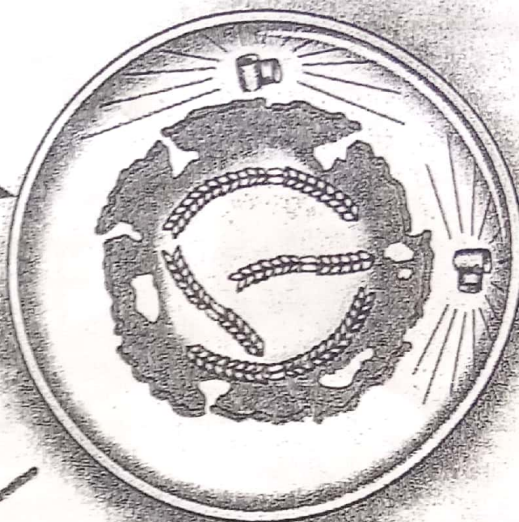


Mitosis

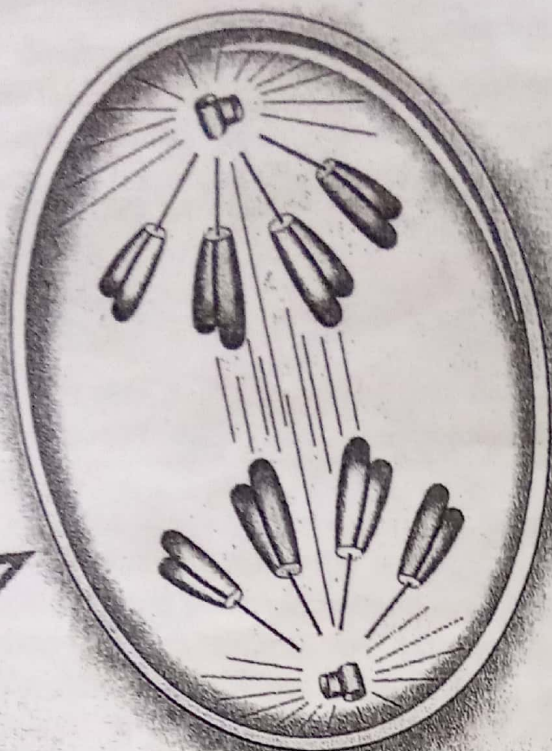
Profase

- Condensación de la cromatina y aparición de los cromosomas como estructuras visibles.
- Como durante la interfase el material genético se duplicó, la apariencia de cada cromosoma es la de un filamento formado por dos mitades individuales que se denominan cromátides hermanas, unidas entre sí por una región cromosómica llamada centrómero, que se visualiza como un estrechamiento en el cromosoma.
- Desaparición de los nucléolos.
- Fragmentación y desaparición de la membrana nuclear: el nucleoplasma y el citoplasma se hacen uno.
- Comienzan a separarse los centríolos.



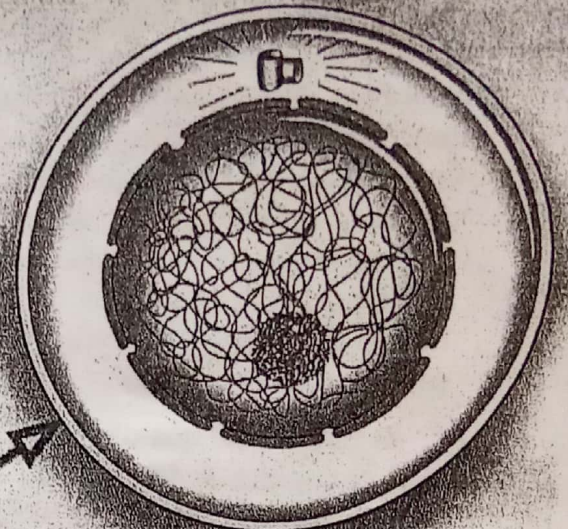
Metafase

- Entre los centríolos que van separándose, se forma una red de fibras que constituyen el huso mitótico.
- Los cromosomas se desplazan y sitúan en la región ecuatorial de la célula.
- Los cromosomas se unen a las fibras del huso a través de los centrómeros.



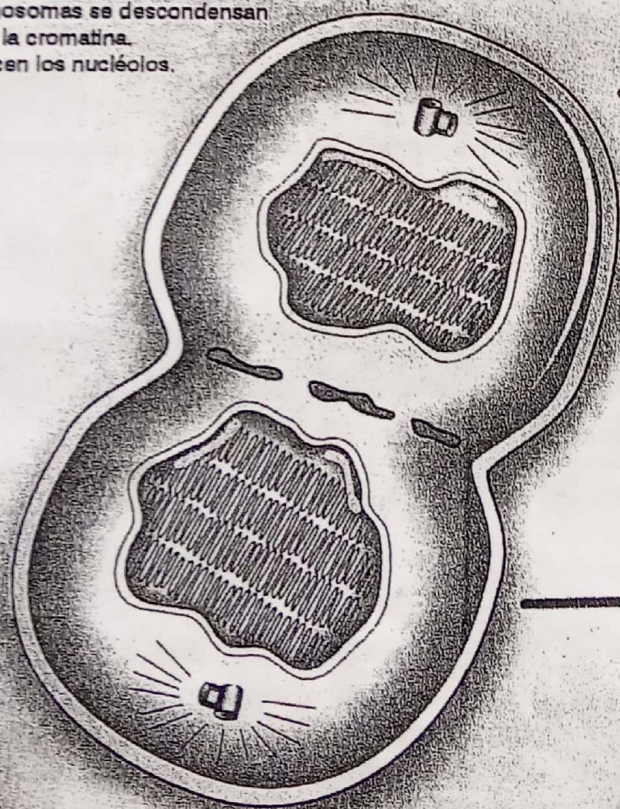
Anafase

- Las cromátides hermanas de cada cromosoma se separan y desplazan hacia los polos de la célula.
- El desplazamiento de cada una de la cromátides se lleva a cabo a través del centrómero que se ha dividido también.



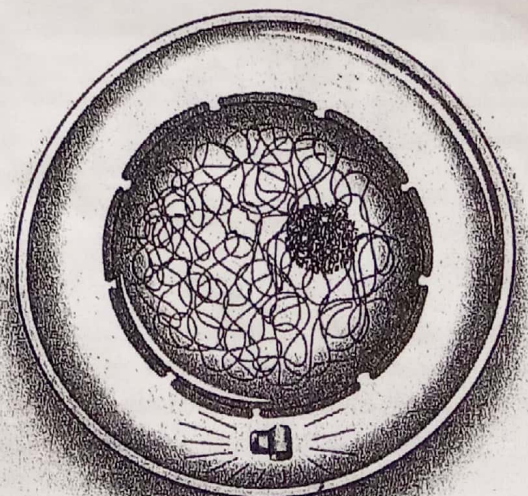
Telofase

- Las cromátides, ahora cromosomas hijos, se hallan en ambos polos celulares.
- El huso mitótico ha desaparecido.
- Se forma la membrana nuclear alrededor de cada núcleo.
- Los cromosomas se descondensan y forman la cromatina.
- Reaparecen los nucléolos.



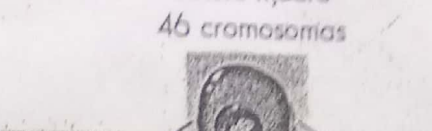
Citocinesis

- La telofase finaliza con la división del citoplasma para formar dos células hijas.



Mitosis

Célula madre
46 cromosomas



Célula hija
46 cromosomas

Célula hija
46 cromosomas

tar más de una variante (cabello lacio o rizado) y ambos miembros de cada par de homólogos pueden poseer la misma o diferente variante. Por ejemplo, para un cierto par de homólogos que lleva la información para la forma del cabello, puede ocurrir que en un individuo la información sea "cabello lacio" en el cromosoma heredado de su madre y que sea "cabello rizado", en el cromosoma heredado de su padre.

En rigor, los pares homólogos son 22 y sus cromosomas se denominan **autosomas** para distinguirlos de los dos **cromosomas sexuales**, denominados X e Y. En todos los mamíferos y en la mayoría de las especies animales las hembras poseen dos cromosomas X y los machos poseen un cromosoma X y un cromosoma Y.

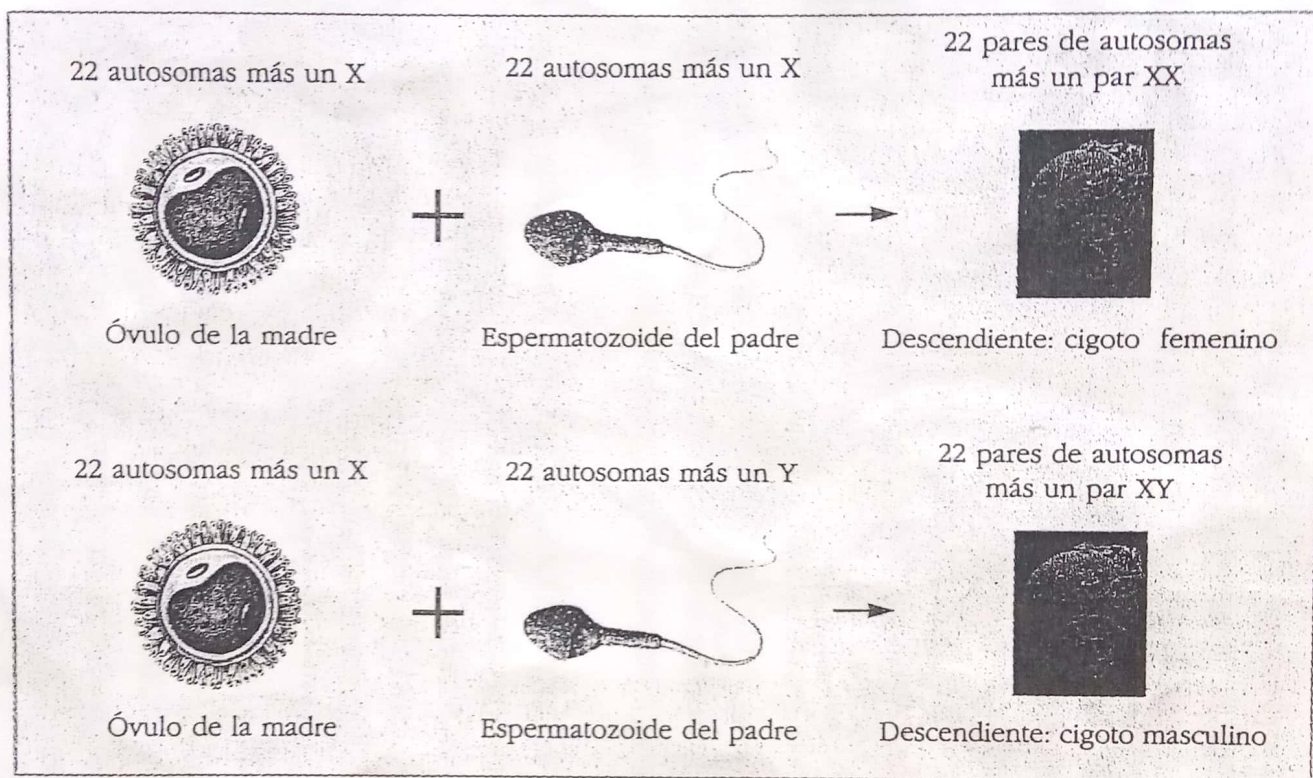
Sexo	Autosomas							Cromosomas sexuales
Femenino	Par 1	Par 2	Par 3		Par 20	Par 21	Par 22	XX
Masculino	Par 1	Par 2	Par 3		Par 20	Par 21	Par 22	XY

y forman el cigoto del individuo hijo. Los óvulos siempre contienen 22 autosomas más un cromosoma X y los espermatozoides contienen 22 autosomas más un cromosoma X o 22 autosomas más un cromosoma Y. Cuando un óvulo es fecundado por un espermatozoide que contiene un cromosoma X, el cigoto resultante será de sexo femenino; en cambio, cuando un óvu-

lo es fecundado por un espermatozoide que contiene un cromosoma Y, el cigoto será de sexo masculino. Durante la fecundación del óvulo y el espermatozoide se restablece el número de 46 cromosomas, característico de nuestra especie.

Este patrón de determinación del sexo es común a todos los mamíferos y a muchos otros grupos de organismos; sin embargo, no es el único. En las aves y en las mariposas, por ejemplo, los cromosomas sexuales

se denominan Z y W. Las hembras poseen dos cromosomas sexuales diferentes, un cromosoma Z y un cromosoma W, mientras que los machos poseen dos cromosomas sexuales Z. Por lo tanto, en este caso el sexo femenino es el sexo **heterogamético** ya que son las hembras las que pueden formar dos tipos de gametas diferentes (gametas que contienen un cromosoma Z o gametas que contienen un cromosoma W), mientras los machos sólo forman gametas con el cromosoma Z.



Finalmente, vamos a introducir dos nuevos términos. Como las células somáticas poseen dos cromosomas en cada pareja de homólogos, se denominan **células diploides**, lo cual se representa como $2n$. Las gametas, en cambio, poseen un cromosoma de cada par de homólogos y, por lo tanto, son células **haploides**, que se representan como n . Con la letra n , se representa cada

conjunto simple de cromosomas, llamado también **set cromosómico**.

Hemos mencionado que las gametas poseen un número n de cromosomas y, por lo tanto, sabemos que no pueden haberse producido por mitosis porque, en ese caso, deberían contener un número $2n$ de cromosomas. Entonces, ¿cómo se forman las gametas? ¿Qué tipo de división celular las origina?



Estudiemos la meiosis

Las gametas se forman por otro tipo de división celular llamado **meiosis**. Al igual que la mitosis, la meiosis está precedida por

un período de interfase en el que el material genético se duplica. Sin embargo, en el caso de la meiosis una única duplicación

Profase I (No ilustrada)

- Desaparece la membrana nuclear. La cromatina comienza a condensarse y se hacen visibles los cromosomas.
- Los cromosomas homólogos se aparean entre sí y se produce el fenómeno de **entrecruzamiento** o *crossing-over* entre los cromosomas homólogos. El entrecruzamiento consiste en un intercambio de fragmentos entre las dos cromátidas homólogas (no hermanas). Esta es una de las diferencias con la mitosis, en la que los cromosomas homólogos no se relacionaban entre sí.
- Recordemos que durante la interfase el material genético fue duplicado. Entonces, cada cromosoma está formado por sus dos cromátidas hermanas y, como los dos cromosomas homólogos están apareados entre sí, en esta etapa se observan unas estructuras formadas por 4 cromátidas, llamadas **tétradas**.
- Al finalizar la profase I, el apareamiento cromosómico se vuelve más débil y los cromosomas homólogos comienzan a rechazarse entre sí.

Anafase I

- Al igual que en la mitosis, los cromosomas se desplazan hacia los polos. Sin embargo, en la anafase I meiótica cada cromosoma que migra hacia los polos está formado por dos cromátidas y los que se separan son los dos cromosomas homólogos de cada par.
- Cada uno de los cromosomas de cada par homólogo se separa al azar, es decir, independientemente de los cromosomas de los otros pares.

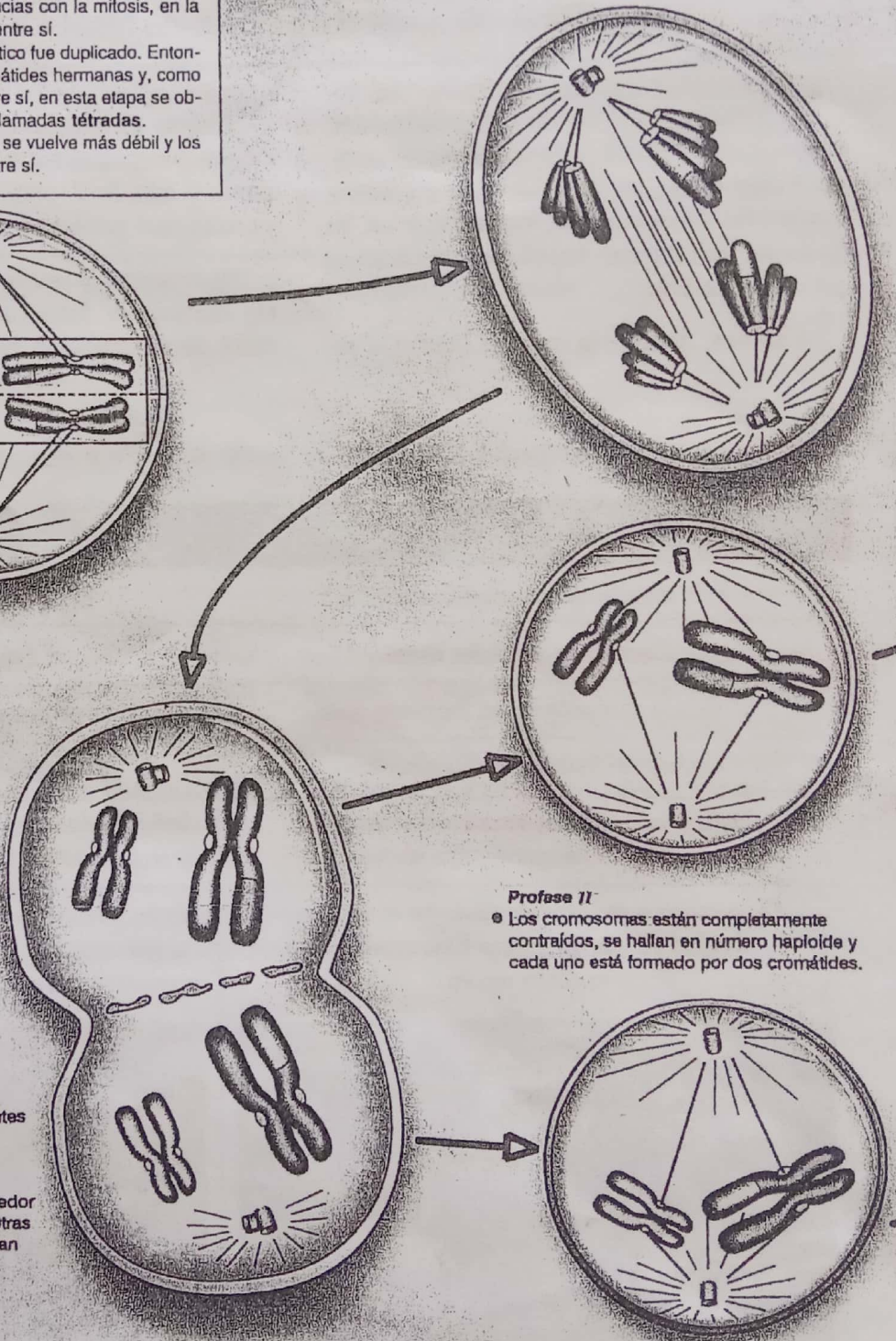
-27-

Metafase I

- Como en la mitosis, los cromosomas se hallan en el plano ecuatorial y se ha formado el huso. Los dos cromosomas homólogos se unen, cada uno a través de su centrómero, a fibras del huso de polos opuestos.
- Las cromátidas homólogas que participaron del entrecruzamiento quedan unidas por unas estructuras, los **quiasmas**, que van desapareciendo a medida que la metafase I avanza.

Telofase I

- Esta fase varía en los diferentes organismos. A veces los cromosomas pierden su contracción y se forman las membranas nucleares alrededor de cada uno de los polos. Otras veces, los cromosomas pasan directamente a la meiosis II.

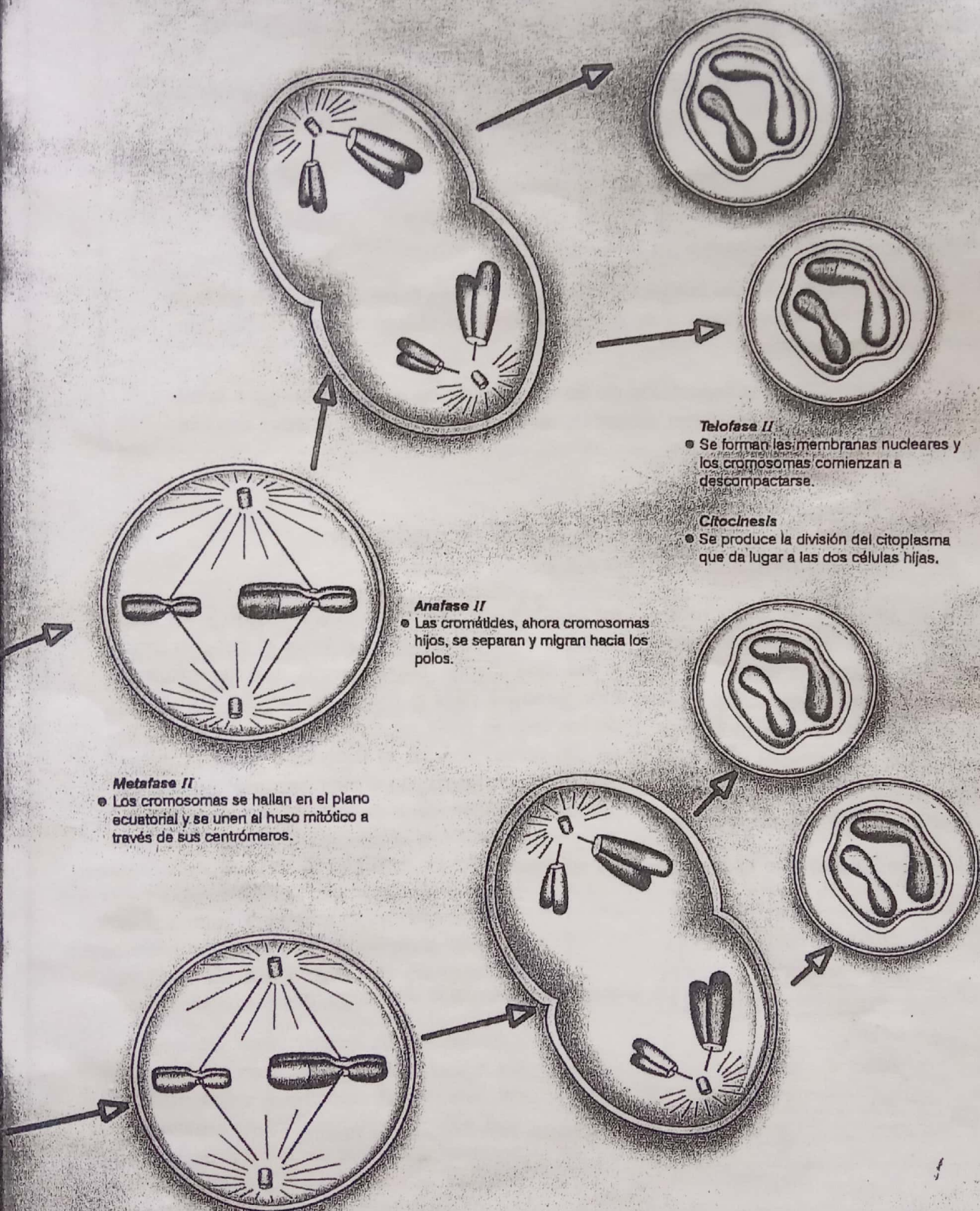


Profase II

- Los cromosomas están completamente contraídos, se hallan en número haploide y cada uno está formado por dos cromátidas.

del material hereditario está seguida por dos divisiones celulares consecutivas, de modo tal que el número de cromosomas se reduce a la mitad. La división meiótica está constituida por dos etapas, la meiosis I y la

meiosis II y en cada una de estas etapas pueden distinguirse las 4 fases (profase, metafase, anafase y telofase). Describiremos ahora los principales hechos que caracterizan cada una de las fases.



Anafase II
 • Las cromátides, ahora cromosomas hijos, se separan y migran hacia los polos.

Metáfase II
 • Los cromosomas se hallan en el plano ecuatorial y se unen al huso mitótico a través de sus centrómeros.

Telofase II
 • Se forman las membranas nucleares y los cromosomas comienzan a descompactarse.

Citocinesis
 • Se produce la división del citoplasma que da lugar a las dos células hijas.

Resumamos los principales resultados de la meiosis I

- Partimos de una célula con $2n$ cromosomas, pero cada uno de los núcleos resultantes de la primera división meiótica contiene n cromosomas: los núcleos son haploides y cada uno posee uno de los miembros de cada pareja de homólogos.
- Al finalizar la meiosis I cada cromosoma está formado por dos cromátides. Sin embargo, estas no son idénticas debido a que ha ocurrido el fenómeno del entrecruzamiento.
- Como a partir de una célula diploide llegamos a dos núcleos haploides, la meiosis I es una fase de **división reduccional**, ya que el número de cromosomas se reduce a la mitad.

Resumamos los principales resultados de la meiosis II

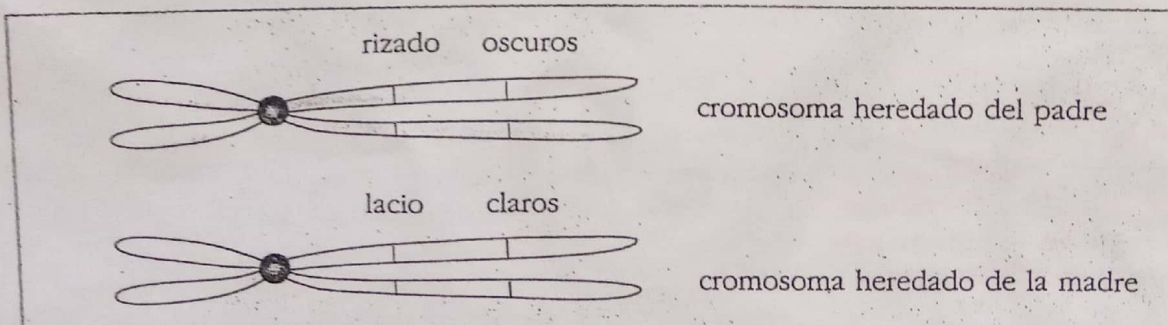
- La meiosis II es similar a una división mitótica y constituye la **fase ecuacional** de la meiosis pues a partir de dos células con un número n de cromosomas se producen cuatro células, también con un número n de cromosomas.
- En esta fase de la meiosis ocurre la separación de las cromátides, de manera análoga a la mitosis. En el caso de la meiosis II, sin embargo, debemos resaltar nuevamente que estas cromátides no son idénticas.

Significado biológico de la meiosis y la fecundación en organismos con reproducción sexual

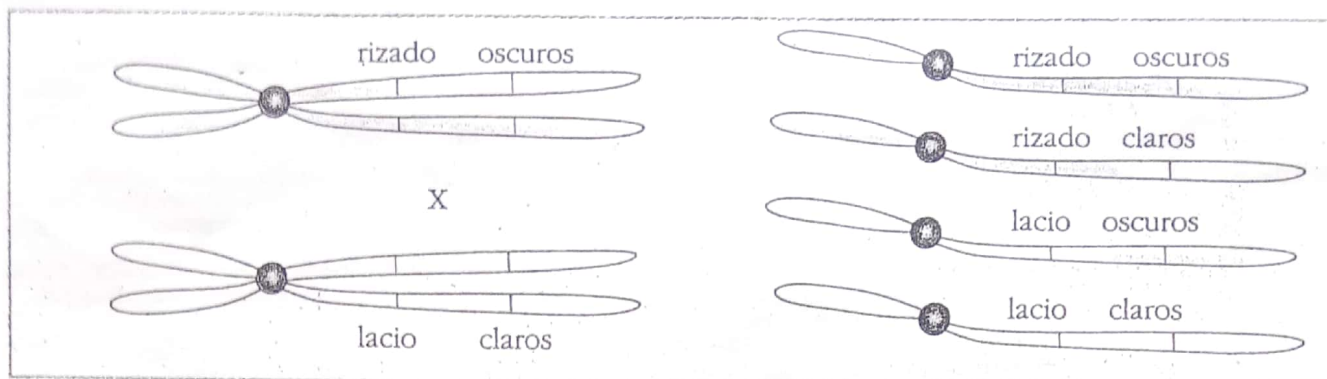
Durante la meiosis se produce el entrecruzamiento o intercambio de segmentos entre los cromosomas homólogos. Este fenómeno da lugar a la **recombinación** de las variantes genéticas presentes en cada uno de ellos y, de este modo, se produce un aumento de la variabilidad genética, es decir, se originan nuevas variedades de organismos. Aclaremos este concepto con un ejemplo.

Veamos el caso de un individuo que es hijo de

un hombre que posee el cabello rizado y los ojos oscuros y de una mujer que tiene el cabello lacio y los ojos claros. Supongamos que la información genética para la forma de cabello y el color de los ojos se halla en el mismo par cromosómico. En consecuencia, el individuo tiene la información "cabello rizado y ojos oscuros" en el cromosoma que proviene de su padre y "cabello lacio y ojos claros" en el cromosoma que proviene de su madre.



¿Qué ocurre durante la meiosis de este individuo?



Se forman cromosomas recombinantes, es decir, con la información "cabello rizado y ojos claros" o "cabello lacio y ojos oscuros". En consecuencia, vemos que en las gametas resultantes habrá combinaciones genéticas nuevas.

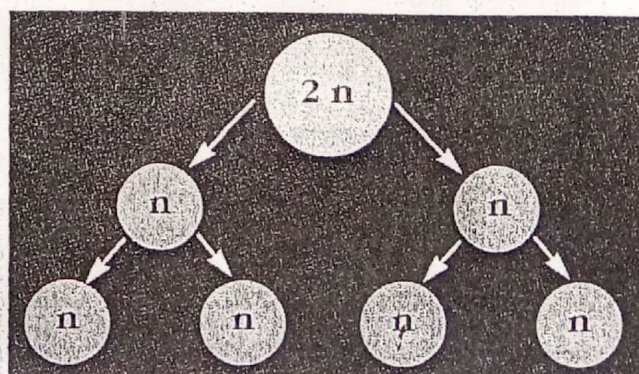
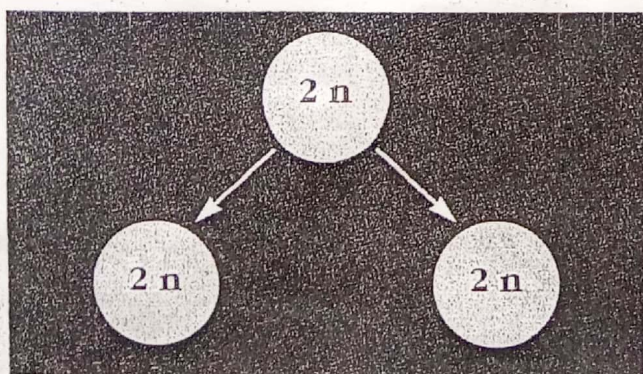
A su vez, durante la meiosis ocurre la se-

gregación al azar de los cromosomas de origen paterno y materno de los diferentes pares y este fenómeno agrega todavía más variabilidad genética.

Finalmente, la unión al azar de las gametas durante la fecundación es otra fuente extra de variabilidad biológica.

Principales diferencias entre mitosis y meiosis

Mitosis	Meiosis
Es la división de las células somáticas	Es la división que origina las gametas
Da lugar a 2 células hijas	Da lugar a 4 células hijas
El número cromosómico se mantiene igual	El número cromosómico se reduce a la mitad
No hay apareamiento cromosómico	Apareamiento de cromosomas homólogos
En la anafase se separan las cromátidas hermanas	En la anafase I se separan los cromosomas homólogos, y en la anafase II se separan las cromátidas hermanas
Es un proceso conservador pues no se genera variabilidad ya que las células hijas son idénticas a la célula madre	Es un proceso que produce variabilidad genética pues se generan nuevas combinaciones gracias al entrecruzamiento y a la segregación al azar de los cromosomas



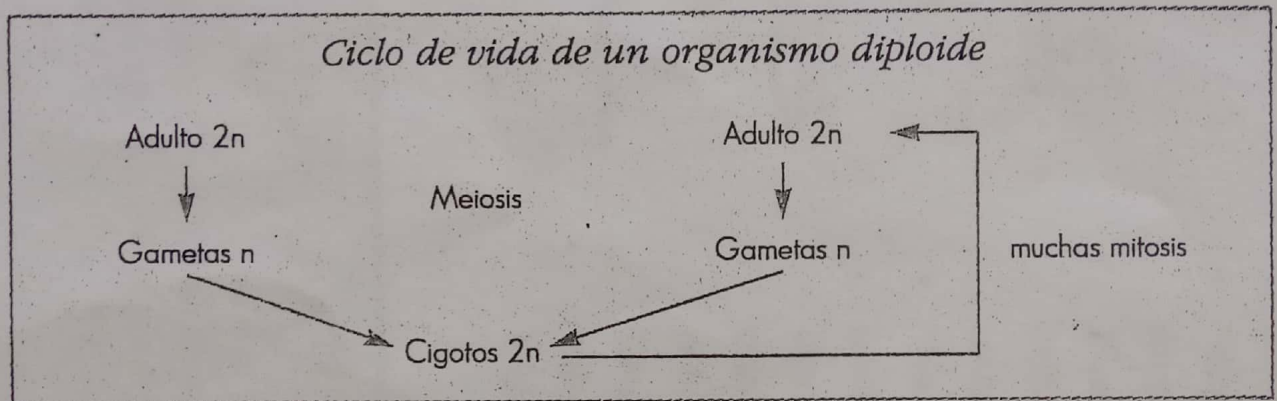
En la especie humana el número diploide es $2n = 46$. Indiquen el número de cromátides presentes en cada una de las siguientes fases.

- a) metafase mitótica;
- b) metafase I de la meiosis;
- c) telofase mitótica;
- d) telofase I de la meiosis;
- e) telofase II de la meiosis.

Mitosis y meiosis en diferentes tipos de organismos

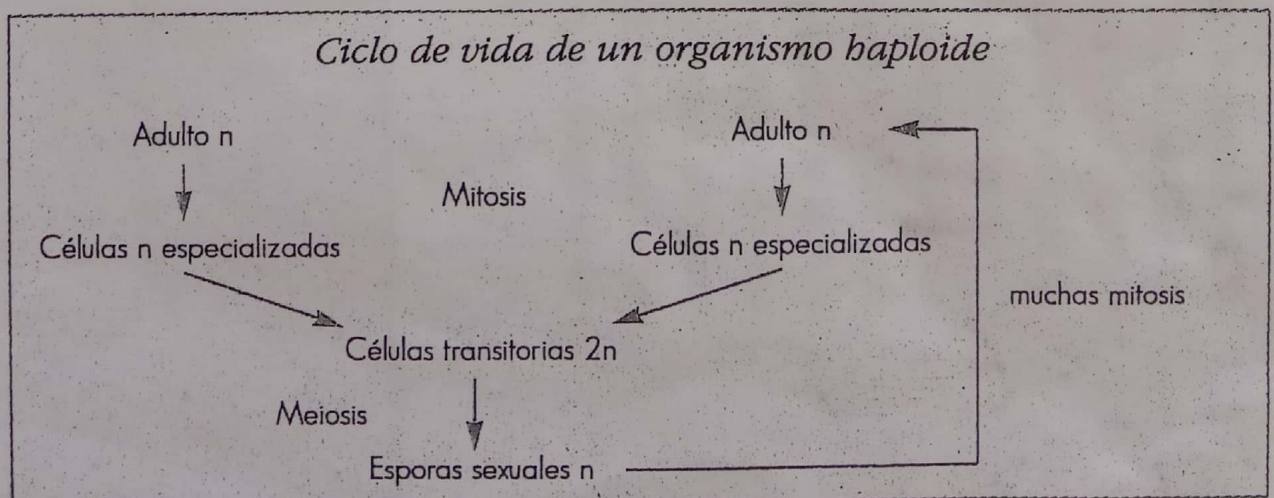
Hasta aquí hemos estudiado los procesos de mitosis y meiosis considerando organismos diploides. Ya mencionamos que en estos organismos:

- 1) las células somáticas contienen $2n$ cromosomas y se multiplican por mitosis;
- 2) la meiosis tiene lugar para formar las gametas que contienen n cromosomas.



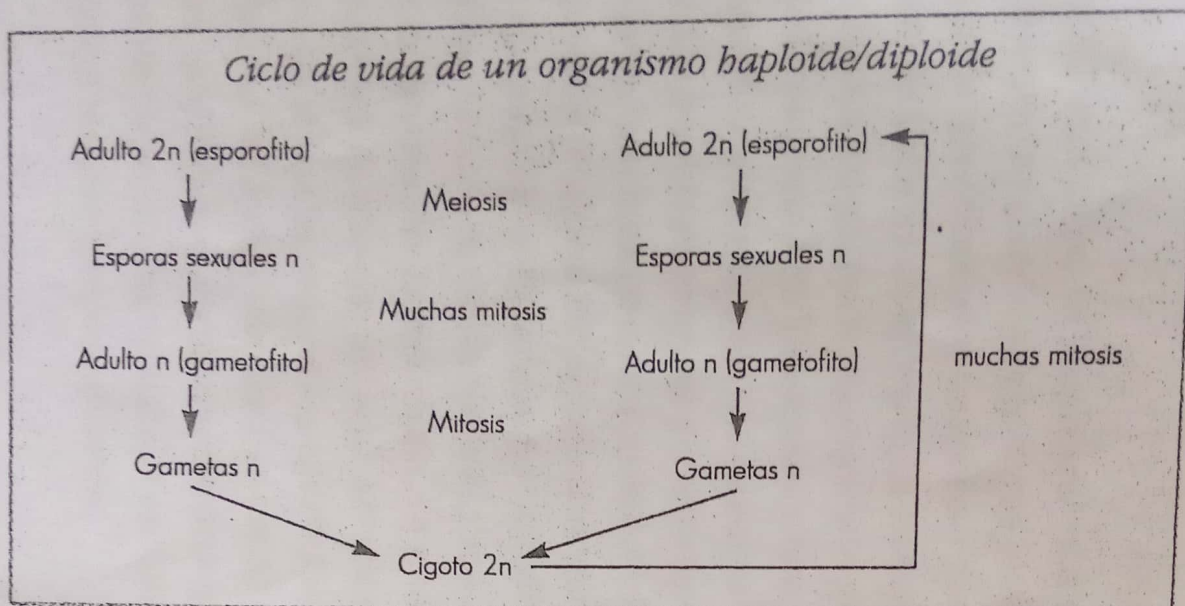
Aunque la mayoría de los eucariotas son diploides, se distinguen sin embargo las algas y los hongos, que generalmente son haploides. En estos últimos el "adulto" es haploide y durante el ciclo vital tiene lugar un estado diploide transitorio. Estas células diploides, por meiosis, dan células

haploides a las que se llama **esporas sexuales**. En algunos organismos las esporas originan directamente un individuo unicelular haploide. Otras veces, las esporas dan lugar a individuos pluricelulares haploides que se desarrollan por sucesivas divisiones mitóticas.



En otros organismos, como las plantas inferiores (helechos y musgos), se alternan las dos fases a lo largo del ciclo de vida: se encuentran dos estados adultos, uno haploide y otro diploide. El **esporofito** es la fase diploide,

que produce esporas sexuales, y el **gametofito** haploide es el que origina las gametas. En las plantas superiores la fase predominante es la diploide y la haploide queda restringida a las estructuras reproductivas.



Algo más sobre los cromosomas

La rama de la biología que se ocupa de describir las características de los cromosomas y de analizar su comportamiento a lo largo del ciclo celular se denomina **citogenética** y, en cierto modo, integra aspectos de la biología celular y de la genética.

Existen diferentes maneras de estudiar los cromosomas de una especie pero, en todas ellas, lo que se requiere es obtener células que estén en una activa división mitótica. Luego, mediante diferentes procedimientos, se detiene la mitosis en la etapa de metafase, de modo que los cromosomas puedan visualizarse bien.

Como los cromosomas son observados en metafase, cada uno de ellos posee sus dos cromátides hermanas. En general, los cromosomas están formados por dos **brazos**, que se denominan brazo p (el más pequeño) y brazo q (el más grande). Los brazos están unidos por el centrómero.

