

LABORATORIO: MODELO DE MITOSIS Y MEIOSIS

Por: L.D. Escobar (1)

PRIMERA PARTE: Consideraciones Teóricas.

INTRODUCCION

Estos fenómenos constituyen los mecanismos mediante los cuales las células de un organismo se dividen, garantizando en esta forma la perpetuación del individuo (mitosis) y la de la especie (meiosis). Los fenómenos mencionados operan, al parecer, universalmente a nivel de todos los seres vivos; aunque su respectiva visualización se pone en duda en muchos casos, especialmente en organismos inferiores tales como las bacterias, las algas azul-verdes (cianofíceas) y en muchos protozoarios. De todos modos, el manejo correcto de estos mecanismos es de gran utilidad en el estudio de una gran cantidad de conceptos biológicos (p.e., ciclos vitales de plantas y animales, fenómenos de diferenciación, mecanismos hereditarios, etc.) y aún en el estudio de ciencias completas (p.e., genética, embriología, evolución).

MITOSIS

La mitosis constituye el mecanismo mediante el cual las células de un organismo se dividen en tal forma que cada una de las células resultantes de cada división ("células hijas") recibe la misma clase y la misma cantidad de material genético (cromosomas) presente en la célula original ("progenitora"). La mitosis asegura la continuidad del individuo mediante divisiones sucesivas de todos y cada uno de los tejidos que constituyen un organismo dado o simplemente mediante la división de una célula, en el caso de los organismos unicelulares.

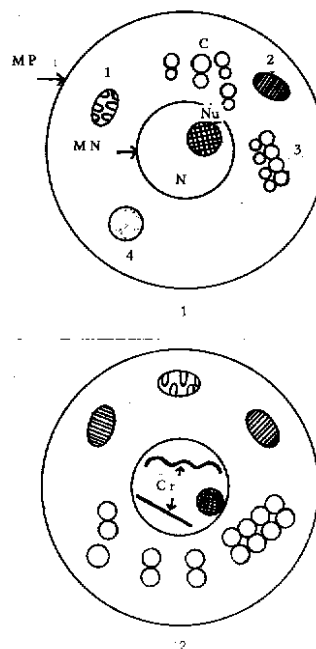
FASES DE LA MITOSIS

Aunque la mitosis es un proceso continuo, por razones de conveniencia en cuanto a su visualización y estudio se refiere, se divide arbitrariamente en diferentes fases o etapas más o menos delimitadas. Tradicionalmente se han considerado

las siguientes fases típicas: profase, metafase, anafase y telofase. A las anteriores podría agregarse la interfase, o sea, el período celular comprendido entre dos divisiones sucesivas. Es de advertir que cada una de las fases anteriores, puede, a su vez, ser subdividida en dos o más etapas de acuerdo con las modificaciones que se van presentando en cada fase. Así por ejemplo, se acostumbra hablar de profase inicial y profase tardía, metafase inicial y metafase tardía y así sucesivamente.

PRINCIPALES EVENTOS EN CADA FASE DE LA MITOSIS.

Interfase. (Fig. 1). Durante esta etapa la célula se encuentra en un "estado (relativo) de reposo", en cuanto a la división se refiere, ya que en cuanto a las demás actividades celulares estas se encuentran en pleno funcionamiento. El empleo de técnicas especiales de coloración permite ver los cromosomas como tenues filamentos dentro del núcleo (Fig. 2).



(1) Profesor Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, S.A.

Profase: (Fig.3). En preparación para su división los cromosomas se acortan, se engrosan y se hacen visibles como entidades independientes, migrando en esta forma hacia la membrana nuclear. Otros eventos característicos de la profase lo constituyen la formación de los *ásteres* o sistemas de radios, localizados a uno y otro lado del núcleo, los cuales se forman mediante la división del centrosoma en dos porciones, cada una de las cuales migra a polos opuestos de la célula. Cada áster posee un *centríolo* del cual se desprenden las series de radios ya mencionados. Finalmente se presentan los siguientes hechos durante la profase: aparece el *huso acromático*, caracterizado por una serie de *fibras* que se extienden entre ambos *polos* de la célula y empiezan a desaparecer la *membrana nuclear* y el *nucléolo* (Fig.3).

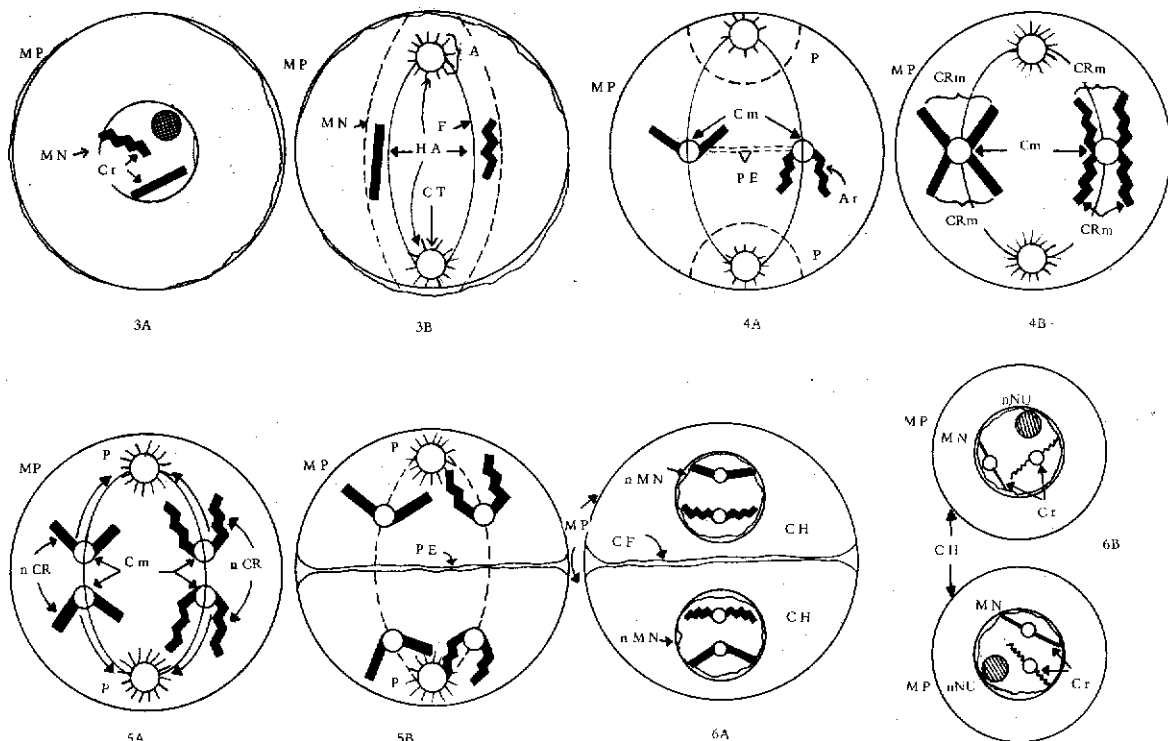
Metafase: (Fig.4). Esta etapa puede considerarse como el punto de equilibrio entre la convergencia de los cromosomas hacia el *plano ecuatorial* y su divergencia hacia los polos. Los cromosomas aparecen adheridos a las fibras del huso acromático por medio de sus respectivos *centrómeros*. Su organización metafásica semeja vees orientadas radialmente en tal forma que las dos ramas de cada V (cromosoma) señalan hacia un polo dado de la célula. Posteriormente cada cromosoma se divide longitudinalmente dando lugar a *dos cromátidas* separadas por el centrómero original.

Anafase: (Fig.5). En esta etapa cada centrómero se divide en dos y como consecuencia las cromátidas (ahora *nuevas cromosomas*) se dirigen a polos opuestos de la célula utilizando como "vía" las fibras del huso y como "guía" sus respectivos centrómeros. Eventos tardíos en esta fase lo son el alargamiento simultáneo del huso, de la célula y la participación de la célula original en dos.

Telofase: (Fig. 6). A esta etapa se le podría considerar como una "profase al revés". En efecto, las membranas plasmática y nuclear de las *nuevas células* se han regenerado casi por completo y las células hijas están conectadas ahora sólo por una delicada porción de citoplasma, conocida como el *Cuerpo de Flemming*. Los eventos finales de la telofase están caracterizados por la desaparición del huso acromático y la reaparición del *nucléolo* con lo cual cada célula hija adquiere la apariencia típica de una célula en interfase.

MEIOSIS

La meiosis constituye el mecanismo mediante el cual los organismos que poseen lo que conocemos como sexo, producen las células sexuales o gametos. Se presentan ligeras variaciones en cuanto a la forma de los gametos, según la especie; (p.e., *oosfera* y *óvulo* para los gametos femeninos de plantas y animales respectivamente; *anterozoide* y *espermatozoide* para los gametos masculinos); en lo relacionado con algunos aspectos fisiológicos, tales como el de que en el caso de la *ovogénesis* por cada célula germinal transformada sólo una de las cuatro células resultantes se convierte en un gameto funcional mientras que, en la *espermatogénesis* cada célula germinal transformada da lugar a cuatro gametos funcionales. No obstante estas y otras diferencias, la meiosis es fundamentalmente la misma en todos los organismos (genéticamente hablando) y consiste en la *reducción del número diploide ($2N$) de cromosoma del individuo (especie) al número haploide (N) de cromosomas en los gametos (masculinos o femeninos respectivos) mediante dos divisiones celulares sucesivas conocidas simplemente como *primera (I) y segunda (II) división meióticas*.*



La importancia de la meiosis se podría ilustrar con el siguiente ejemplo: La especie humana posee un número diploide ($2N$) de cuarenta y seis (46) cromosomas. Si en cada matrimonio dado ambos cónyuges produjeran, en la primera generación gametos con dicho número de cromosomas los hijos tendrían un número diploide ($2N$) de noventa y dos (92) cromosomas, fruto de la unión de un espermatozoide con cuarenta y seis y un óvulo con idéntico número de cromosomas. Suponiendo que el fenómeno anterior siguiera operando en estas condiciones encontraríamos que al cabo de seis generaciones los individuos poseerían un número diploide de 2.944 cromosomas! Como puede apreciarse, esto sería el caos y, en consecuencia, la continuidad de la vida sobre la tierra estaría en peligro. Afortunadamente la meiosis opera de una manera muy sabia en tal forma que los gametos sólo portan la mitad del número de cromosomas de la especie. Así, en el ejemplo que nos ocupa, cada cónyuge produce gametos con un número haploide (N) de veintitrés (23) cromosomas y por consiguiente los hijos heredarán, generación tras generación, un número diploide ($2N$) de cuarenta y seis (46) cromosomas, propios de la especie humana. El ejemplo anterior podría resumirse tal como lo ilustra la figura 7.

Al igual que la mitosis la meiosis es un proceso continuo pero, por razones de conveniencia para su estudio, se le puede dividir en etapas y fases en cada una de las cuales se presentan, a grandes rasgos, los hechos que se describen a continuación.

PRINCIPALES EVENTOS EN CADA FASE DE LA MEIOSIS.

Primera División Meiótica (I)

Profase I: Comprende las siguientes subdivisiones: leptotene, zigotene, paquitene, diplotene y diacinesis.

Leptotene: (Fig.8) Los cromosomas se presentan delgados, alargados y parecen poseer estructuras semejantes a cuentas de rosario conocidas como cromómeros, localizados a nivel de toda la extensión del cromosoma.

Zigotene: (Fig.9) Los cromosomas homólogos se aparean y forman una sinapsis (unión) tan estrecha que prácticamente dan la impresión de formar una sola unidad. Es conveniente anotar que cada pareja de cromosomas homólogos está formada por un cromosoma de origen paterno y otro de origen materno; aunque cada uno de ellos presentará, como se verá mas adelante (paquitene y diplotene), intercambio de material genético con su oponente respectivo.

Paquitene: (Fig.10). Los cromosomas se engrosan, disminuyendo al mismo tiempo de longitud. Cada uno de los cromosomas homólogos aparece duplicado. El original y el duplicado, ahora denominados *cromátidas*, se presentan unidos a expensas de un sólo centrómero (el original de cada homólogo). El conjunto resultante de la duplicación de los homólogos se denomina *tétrada* o *bivalente*. A este nivel parece presentarse el trascendental fenómeno del *entrecruzamiento* (crossing-over) o *recombinación*, consistente en el intercambio de material genético entre cromátidas no-hermanas (p.e., entre 1 y 3, 2 y 4; 1 y 4, 1 y 3; ver figura 10), mecanismo que garantiza la creación y el mantenimiento de la variabilidad genética de generación en generación.

Diplotene: (Fig. 11). Cada pareja de cromátidas no-hermanas (antes cromosomas homólogos) parece experimentar cierto tipo de repulsión que las tiende a separar; repulsión aparentemente atenuada solo por el (o los) quiasma(s), configuraciones en forma de X, fruto de entrecruzamiento entre cromátidas no-hermanas (cromátidas homólogos).

Diacinesis: (Fig.12). Las tétradas parecen contraerse al máximo; en tanto que se notan los primeros indicios de las fibras del huso acromático.

Metafase I. (Fig.13). Las parejas de cromátidas homólogas (tétradas) se alinean en el plano ecuatorial y los centrómeros homólogos "apuntan" hacia polos opuestos de la célula.

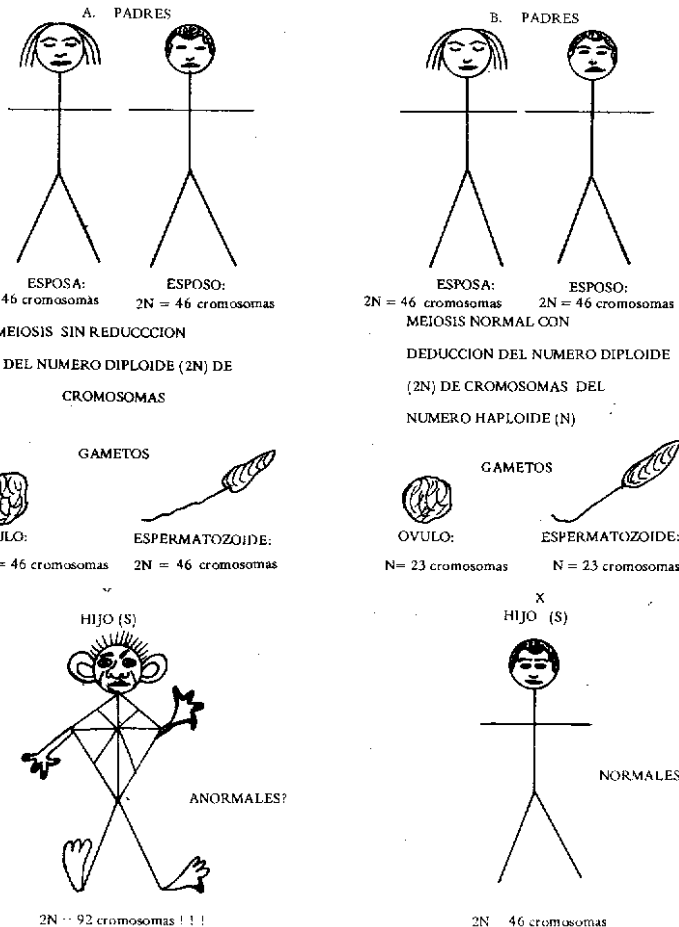
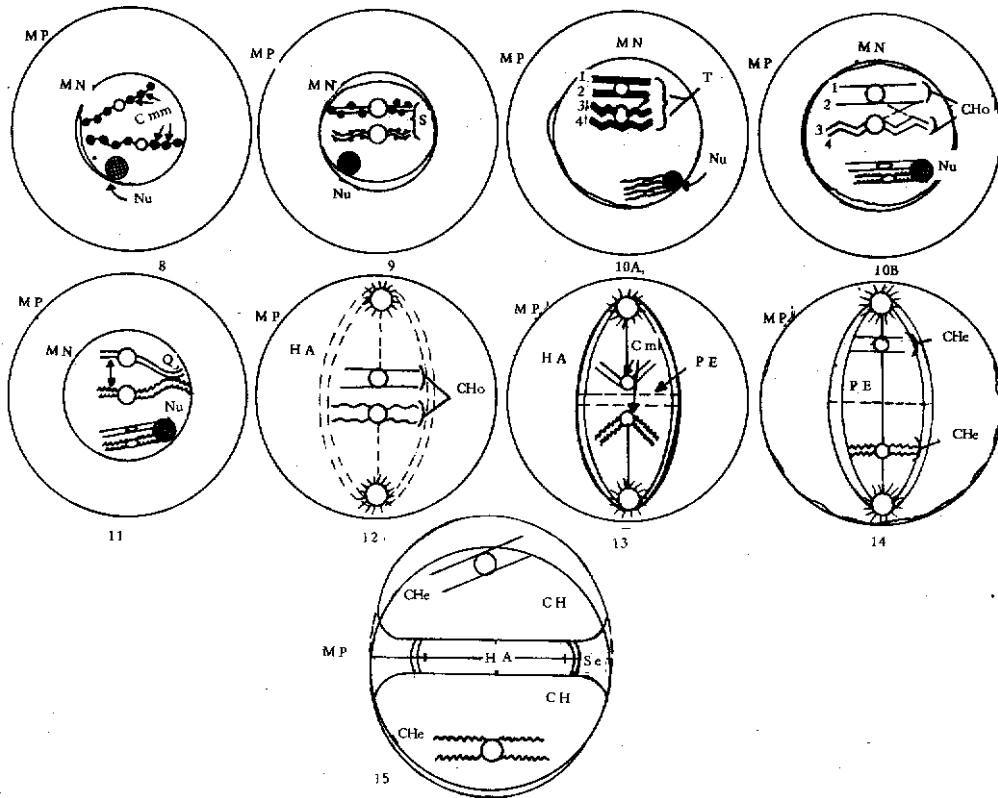


Figura 7, Meiosis Hipotéticos sin reducción del número Diploide de Cromosomas B. Meiosis normal.



Anafase I: (Fig.14). La repulsión entre las cromátidas homólogas llega al máximo y, en consecuencia, cada centrómero homólogo migra al polo respectivo "arrastrando" consigo dos cromátidas hermanas (díadas)

Telofase I: (Fig. 15). Las díadas se agrupan en cada una de las dos células resultantes hasta el momento como fruto de la primera división meiótica.

Intercinesis: Entre la primera y la segunda división meiótica se puede presentar, o no, un estado de reposo conocido como intercinesis. En caso de faltar éste las dos divisiones se conectan pasando prácticamente de anafase I a metafase II.

Segunda División Meiótica (II)

Profase II: (Fig.16). Esta fase puede, o no, existir o bien ser muy breve, dependiendo del organismo en cuestión. Cuando existe se observa contracción y espiralización de las cromátidas.

Metafase II: (Fig.17). Las díadas se sitúan en el plano ecuatorial. Posteriormente cada centrómero, que hasta ahora había estado uniendo dos cromátidas hermanas, se divide o sea que cada cromátida, desde ahora nuevo cromosoma, adquiere su centrómero propio. En estados más avanzados de la metafase II cada pareja de nuevos cromosomas (antiguas díadas) se orienta hacia polos opuestos de la célula como en casos precedentes.

Anafase II: (Fig.18). Los nuevos cromosomas se dirigen a sus respectivos polos, al igual que en la mitosis.

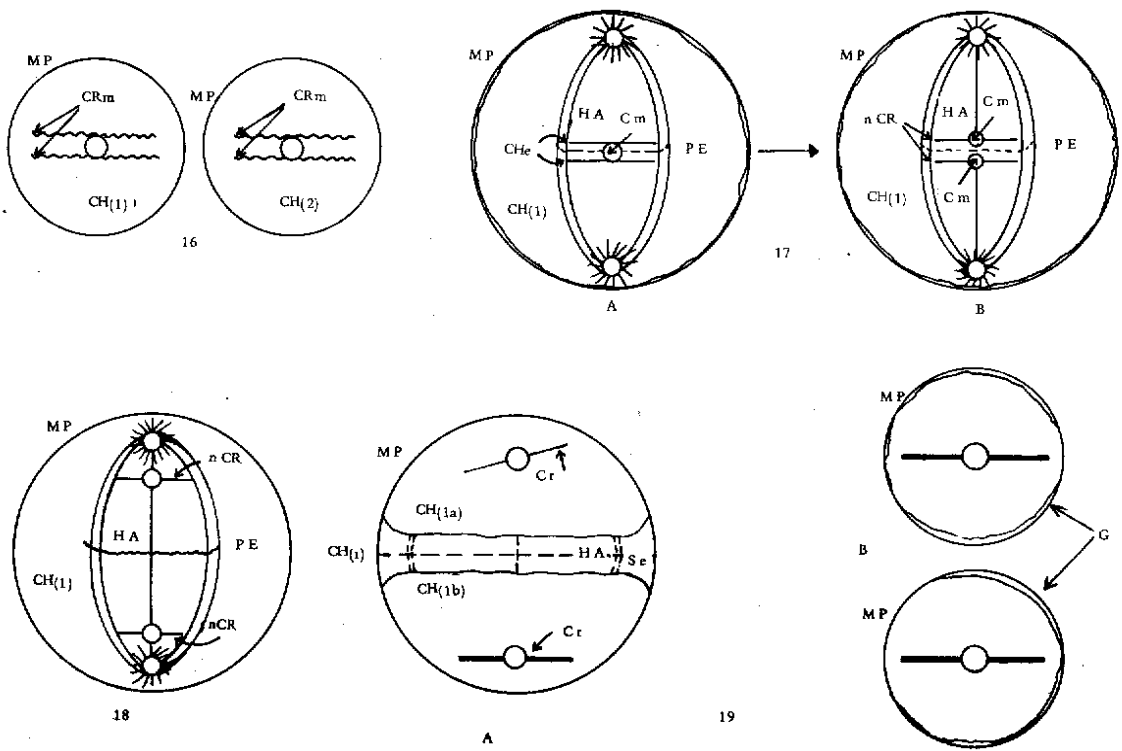
Telofase II: (Fig.19). Se observa la reorganización final de las células hijas, ahora convertidas en gametos.

Un resumen de lo anotado acerca de los fenómenos de mitosis y meiosis podría representarse con el esquema de la figura 20.

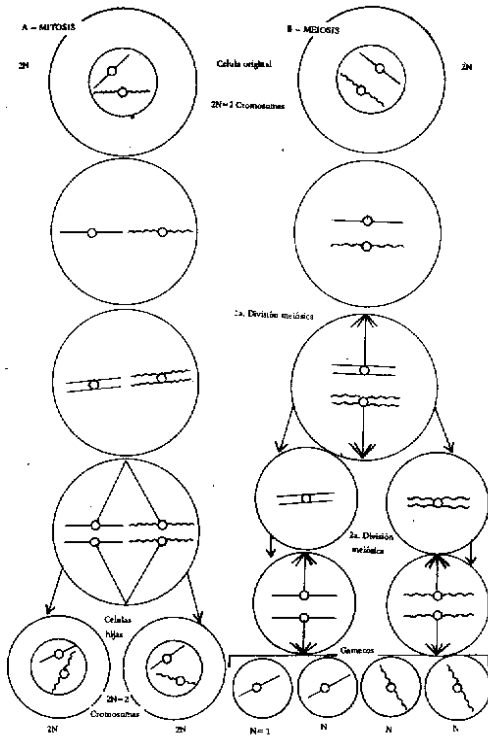
SEGUNDA PARTE: Uso del modelo sobre mitosis y meiosis.

INTRODUCCION.

La utilización de este modelo tiene como finalidad familiarizar a profesores y estudiantes con los resultados finales de la mitosis y la meiosis, en cuanto a la distribución de los cromosomas se refiere. En otras palabras, el modelo visualiza la forma como una célula somática (célula perteneciente a cualquier tejido diferente al germinal o gonadal) se divide en dos, recibiendo cada célula hija el mismo número y la misma clase de cromosomas de la célula original; o bien, como una célula germinal (células de las gónadas) sufre dos divisiones consecutivas que dan como resultado la formación de cuatro gametos (salvo en la ovogénesis) con la mitad del número de cromosomas de la célula original. Por lo expuesto anteriormente es conveniente hacer notar que



20



MATERIALES

(Para grupos de 2-6 estudiantes, según el tamaño del grupo)

1. Pedazo de cartulina de 50 x 50 cm.
2. Seis metros de alambre forrado, delgado (tipo instalación navideña) en dos colores diferentes, 3 m de cada color.
3. Trozo de plastilina (o similares)
4. Alicates, tenazas, tijeras o cualquier herramienta apropiada para cortar alambre.
5. Gráficas y fotos sobre los fenómenos de mitosis y meiosis.
6. Marcadores o lápices de punta gruesa.

NOTA. Este laboratorio permite una gran libertad, en cuanto al uso de distintos materiales se refiere. Así por ejemplo: La cartulina puede ser reemplazada por papel grueso, madera, hojalata, etc. El alambre por pita, cabuya o cordones teñidos; o bien por trocitos de madera u otros materiales fáciles de manejar.

para usar el modelo no es necesario tener en cuenta todos y cada uno de los eventos de la mitosis y la meiosis descritos previamente; aunque, como es lógico, éstos pueden ser considerados para una mejor comprensión de los fenómenos en estudio.

La plastilina, por su parte, se puede reemplazar por broches comunes o por cualesquier otros sistemas de engranaje. Dejamos, entonces, a la iniciativa del profesor las escogencias del material más apropiado según el caso.

PROCEDIMIENTOS

En la utilización de este modelo se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Supongamos que "nuestra célula" posee un número diploide de cromosomas $2N = 2$
- Por razones de conveniencia, haremos abstracción del comportamiento de estructura tales como el nucléolo, la membrana nuclear, el plano ecuatorial y el huso acromático; concéndonos exclusivamente en el número inicial y final de células y cromosomas respectivamente en cada caso.

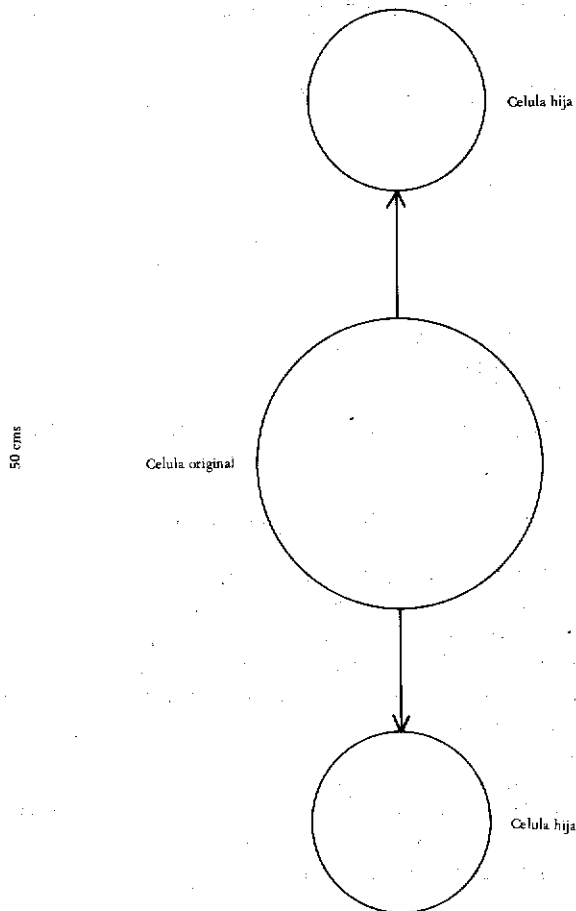
A. MITOSIS

Dibuje el lado A del pedazo de cartulina tal como lo muestra la figura 21. Procure que el círculo central ("célula origi-

21

50 cms

LADO A = MITOSIS



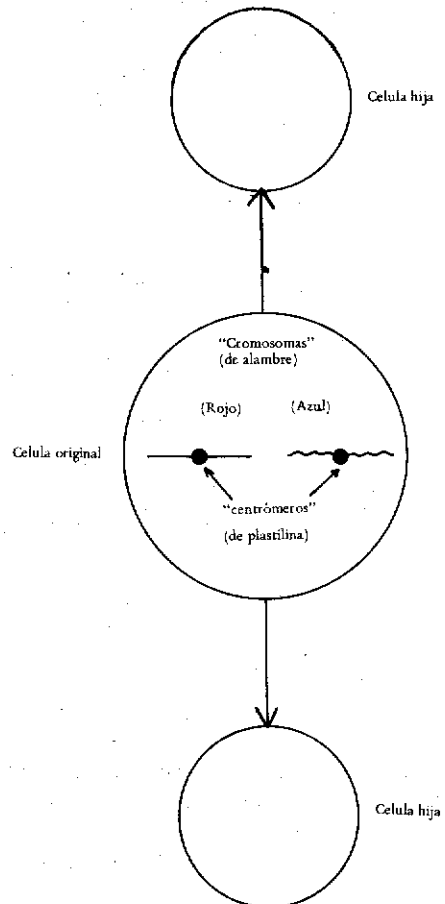
nal") sea aproximadamente el doble de cada uno de los círculos superior e inferior respectivamente ("células hijas").

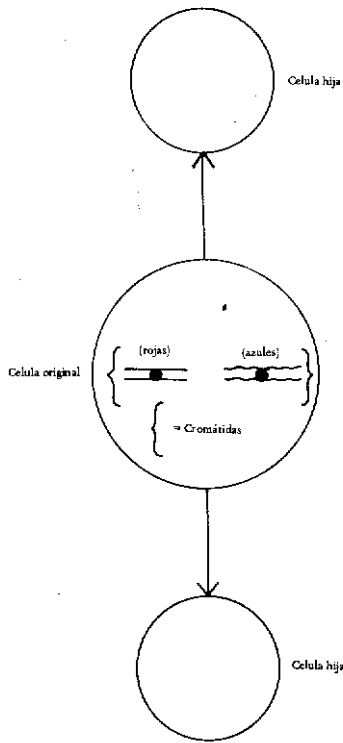
Corte a continuación dos pedazos de alambre ("cromosomas") de un color (en el ejemplo, rojo —) de unos 5 cm. de largo y otros dos pedazos de igual tamaño pero de diferente color (en el ejemplo, azul ~).

Coloque un cromosoma rojo y otro azul en la célula original. Simule los "centrómeros" con esferitas de plastilina (Fig.22). Trate ahora de visualizar la duplicación de los cromosomas y para el efecto pegue a cada cromosoma original su duplicado (de acuerdo con su color) a expensas de un solo centrómero en cada caso (Fig.23). Recuerde que a este nivel, original y duplicado, reciben el nombre de cromátidas. Prosiga luego con la separación de las cromátidas (nuevos cromosomas) y para el efecto simplemente despegue cada cromátida de su "gemela". Represente los nuevos centrómeros con plastilina (Fig.24). Finalmente pase los cromosomas que apuntan hacia cada una de las células hijas (Fig.24 y 25).

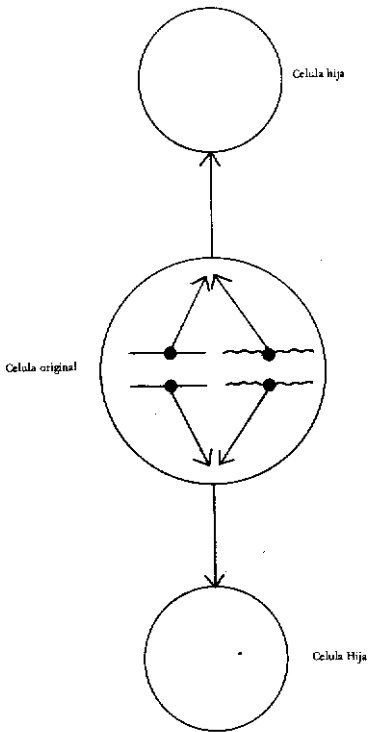
Observe que cada célula hija recibe el mismo número (en este caso dos cromosomas) y la misma clase (un "cromosoma rojo" y un "cromosoma azul") de los que tenía la célula

22

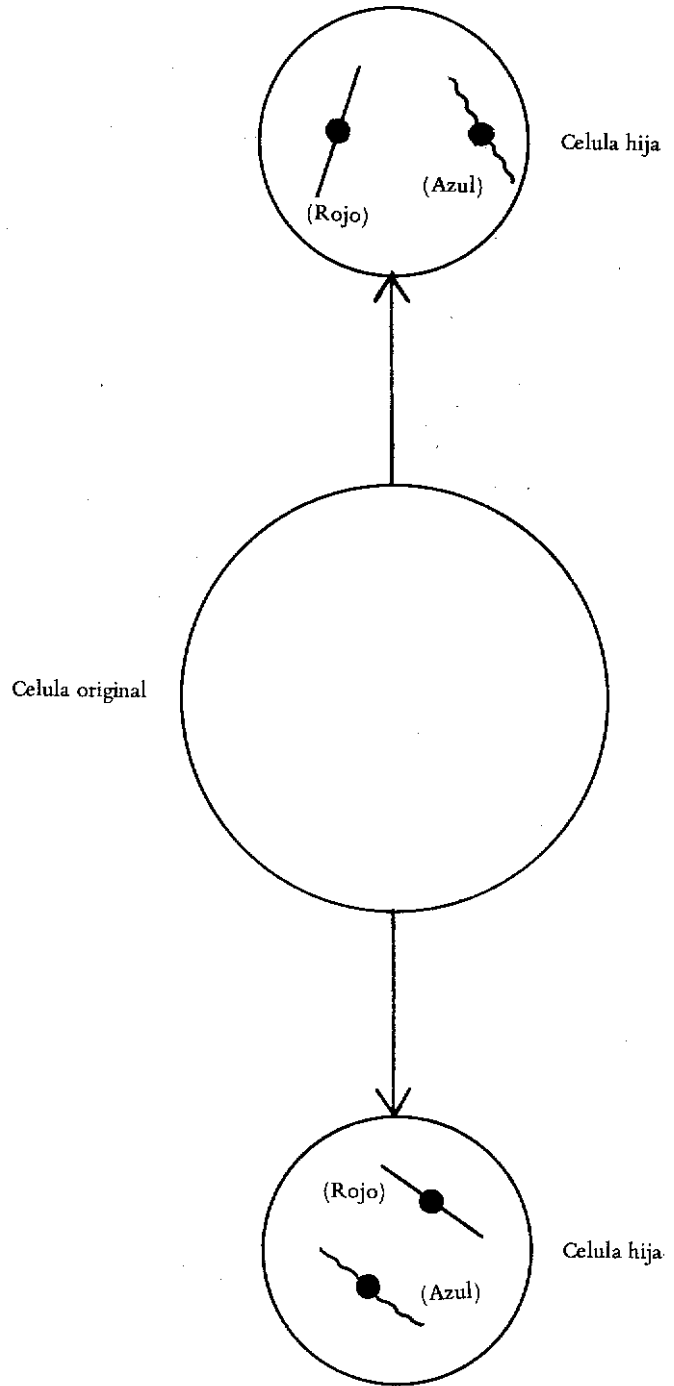




23



24



25

original. Repita el procedimiento utilizando un número diploide ($2N$) de cuatro cromosomas (dos rojos y dos azules) en vez de dos.

B. MEIOSIS

Dibuje el lado B del modelo tal como lo ilustra la figura 26. El círculo de la izquierda ("célula original") puede ser el doble de los círculos centrales y éstos, a su vez, el doble de los círculos de la derecha ("células hijas o gametos") Coloque los "cromosomas homólogos" (uno rojo—y otro azul—) en la célula original. (Fig.27).

Visualice la duplicación de cada homólogo pegando el duplicado (según su color) tal como lo muestra la figura 28. Recuerde que este conjunto recibe el nombre de tétrada o bivalente y que cada filamento es ahora una "cromátida".

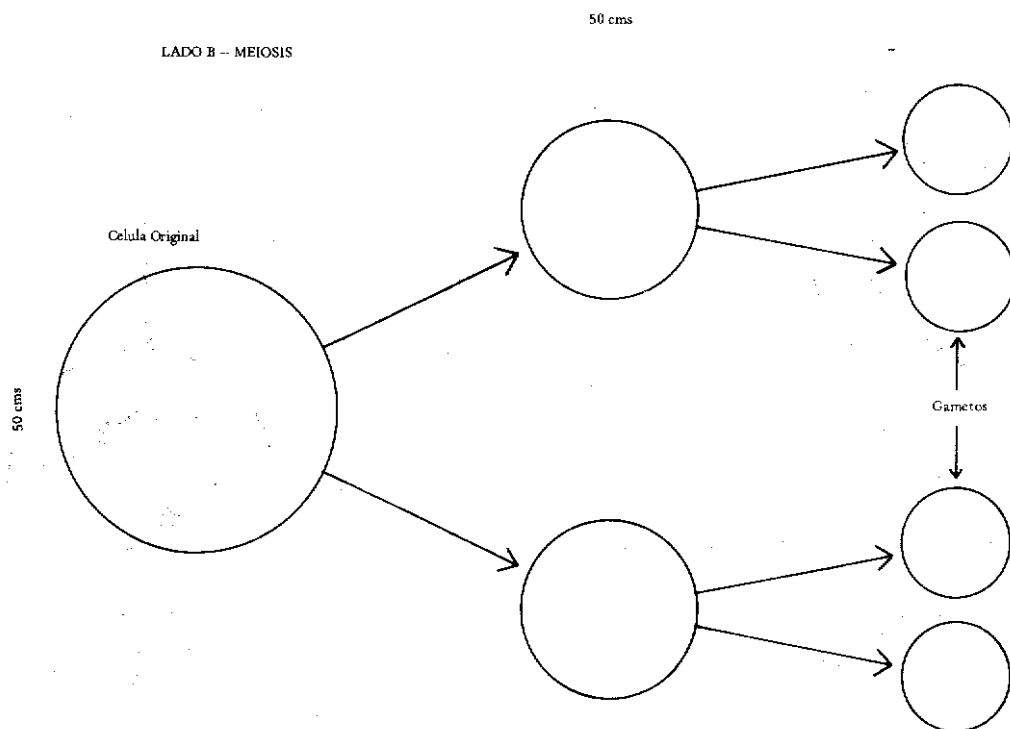
Pase luego cada pareja de cromátidas hermanas (díada) a las dos células resultantes de la primera división meiótica (Fig.29). Finalmente separe cada cromátida de su colega y pase cada una de estas (ahora "nuevas cromosomas") a las cuatro células (gametos) resultantes de la segunda división meiótica (Fig.30). Observe que cada gameto recibe la mitad o número haploide (N) de cromosomas (en este caso uno) del número doble o diploide ($2N$) que poseía la célula origi-

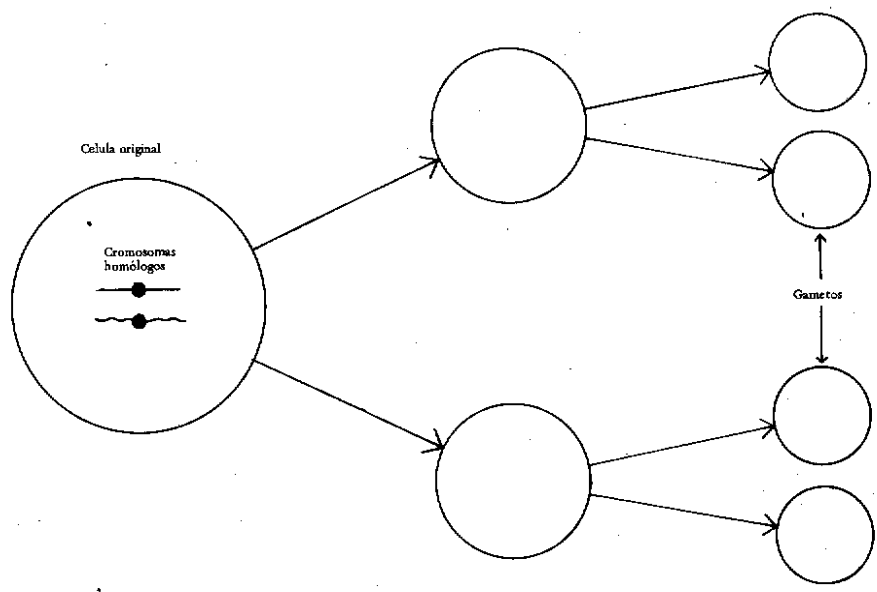
nal. Repita el procedimiento utilizando cuatro cromosomas (dos rojos y dos azules) en vez de dos.

CONCLUSIONES Y PROBLEMAS

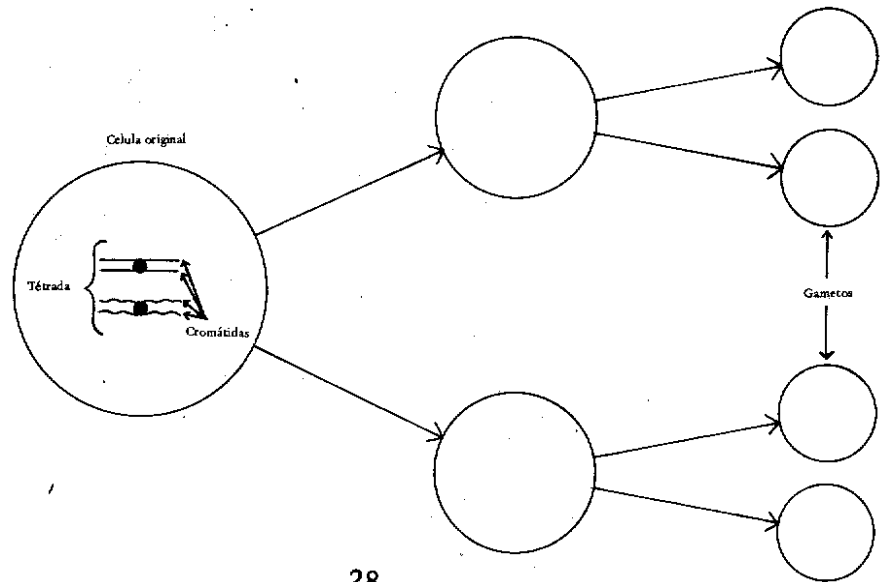
- Examine las consecuencias que se derivarían de:
 - La no—disyunción (no separación) de las cromátidas en la mitosis,
 - La no—disyunción de las mismas en la primera división meiótica.
 - Idem, en la segunda división meiótica.
- ¿Cuántas tétradas se observarán en la meiosis?
 - En la especie humana ($2N = 46$).
 - En una especie con $2N = 20$.
 - Idem, con $2N = 10$.
- Si un organismo presenta un número diploide de cromosomas *impar*, p.e., $2N = 13$, ¿qué complemento(s) cromosómico(s) poseerán los *gametos* de estos individuos?

26

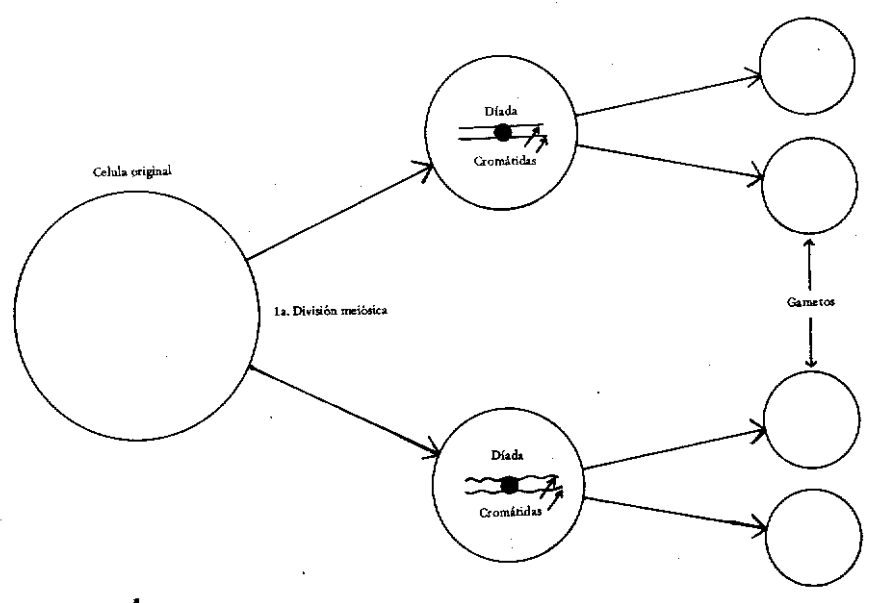




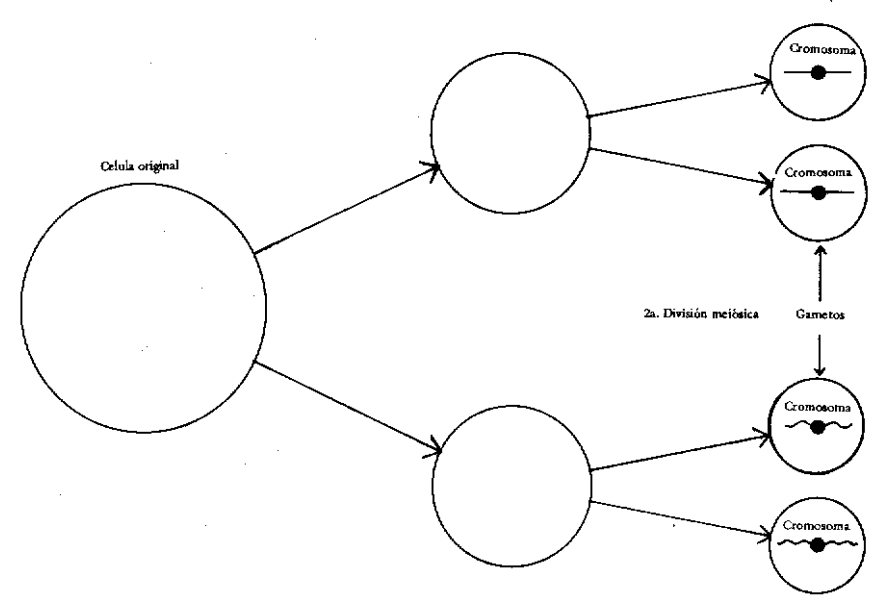
27



28



29



30

BIBLIOGRAFIA

Mazia, D., "Cell División". *Sci. Am.*, Agust, 1953.

Pilet, P.E., *La célula*. Masson et Cie Editeurs Paris, 1968. 379p.

Wilson, G.B. *División celular y ciclo mitótico*. Editorial Alhambra, S.A. Madrid, 1969. 111p.