

7) LOS CROMOSOMAS MITÓTICOS

Durante la mitosis las cromátidas se repliegan sobre sí mismas en tal grado que surgen pequeños cuerpos dobles perfectamente visibles al microscopio: son los **cromosomas metafásicos**.

Normalmente, los cromosomas son difíciles de observar, pues se presentan en la célula en gran número. Pero haciendo preparaciones adecuadas pueden aislarse y fotografiarse.

Su tamaño es variable: según las células, el cromosoma de que se trate, del momento funcional, etc. No obstante, oscila, aproximadamente, entre $0,2\mu$ a 50μ de longitud por $0,2\mu$ a 2μ de diámetro. En la especie humana entre 4μ y 6μ .

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL CROMOSOMA

En cada cromosoma mitótico podemos distinguir:

Las cromátidas.- son estructuras idénticas en morfología e información ya que contienen cada una una molécula de ADN. Las cromátidas están unidas por el centrómero. Morfológicamente se puede decir que el cromosoma es el conjunto de dos cromátidas y genéticamente cada cromátida tiene el valor de un cromosoma. Estructuralmente, cada cromátida está constituida por un **esqueleto proteico**, situado en el interior, alrededor del cual se disponen muy apilados el **ADN** y las proteínas que forman el cromosoma.

El centrómero.- Es la región que se fija al huso acromático durante la mitosis. Se encuentra en un estrechamiento llamada constricción primaria, que divide a cada cromátida del cromosoma en dos **brazos**. En el centrómero se encuentran los **cinetocoros**: zonas discoidales situadas a ambos lados del centrómero que durante la división celular tienen como función hacer que los microtúbulos del huso se unan a los cromosomas. Los cinetocoros son también centros organizadores de microtúbulos, igual que los

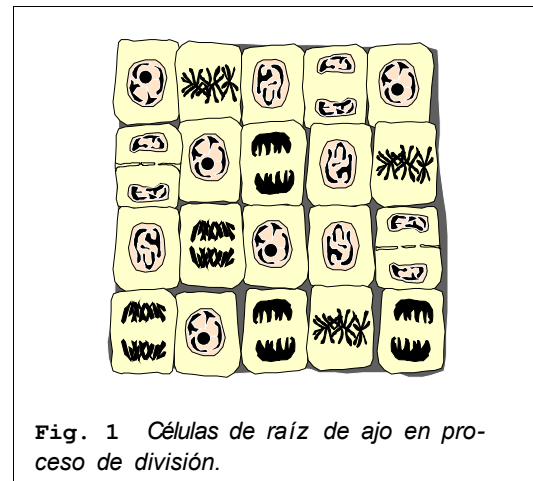


Fig. 1 Células de raíz de ajo en proceso de división.

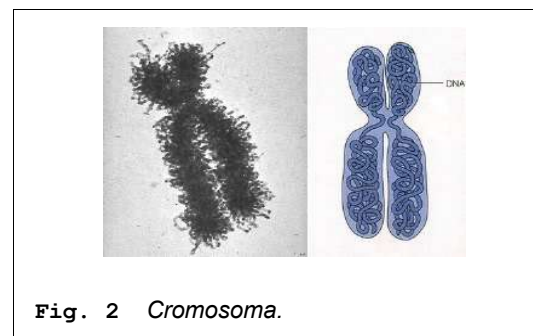


Fig. 2 Cromosoma.

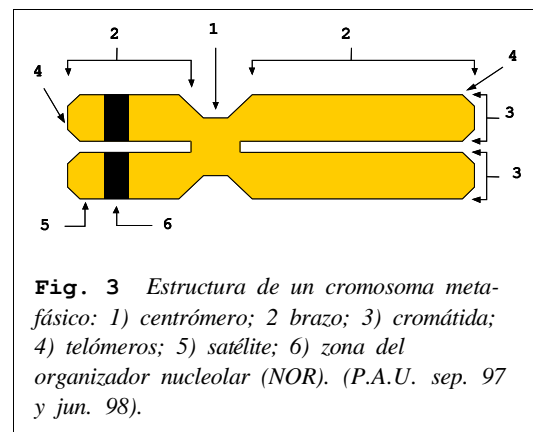


Fig. 3 Estructura de un cromosoma metafásico: 1) centrómero; 2) brazo; 3) cromátida; 4) telómeros; 5) satélite; 6) zona del organizador nucleolar (NOR). (P.A.U. sep. 97 y jun. 98).

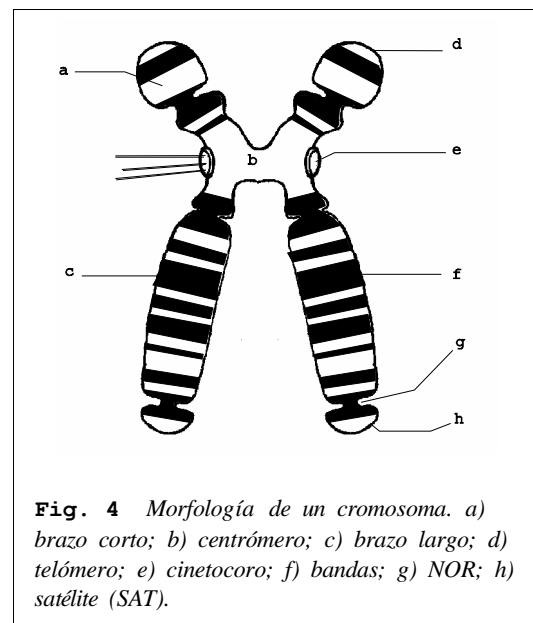


Fig. 4 Morfología de un cromosoma. a) brazo corto; b) centrómero; c) brazo largo; d) telómero; e) cinetocoro; f) bandas; g) NOR; h) satélite (SAT).

centriolos o el centrosoma de las células vegetales.

Los telómeros.- Al extremo de cada brazo del cromosoma se le denomina telómero. El ADN de los telómeros no se transcribe y en cada proceso de división celular se acorta. Cuando los telómeros desaparecen el cromosoma sigue acortándose y la célula pierde información genética útil y degenera. Los telómeros serían, por lo tanto, una suerte de "reloj celular" que determinaría el número de ciclos celulares que puede tener una célula. En las células cancerosas, una enzima, la **telomerasa**, regenera los telómeros; esta es la razón, al parecer, de que estas células puedan dividirse indefinidamente.

El organizador nucleolar.- En algunos cromosomas se encuentra la región del organizador nucleolar (NOR). En ella se sitúan los genes que se transcriben como ARNr, con lo que se promueve la formación del nucléolo y de los ribosomas. Esta zona no se espiraliza tanto y por eso se ve más clara.

El satélite (SAT).- Es el segmento del cromosoma entre el organizador nucleolar y el telómero correspondiente. Sólo poseen satélite aquellos cromosomas que tienen **NOR**.

CLASIFICACIÓN DE LOS CROMOSOMAS POR LA POSICIÓN DEL CENTRÓMERO

Los cromosomas son orgánulos constantes en número, forma y características. Pero los cromosomas de una célula pueden ser diferentes unos de otros. Esta diferencia está, sobre todo, en la posición del centrómero, que es variable, lo que permite clasificar a los cromosomas metafásicos en **metacéntricos**, **submetacéntricos**, **acrocéntricos** y **telocéntricos**, según tengan el centrómero en medio, desplazado hacia uno de los brazos, casi en el extremo o en el extremo, respectivamente.

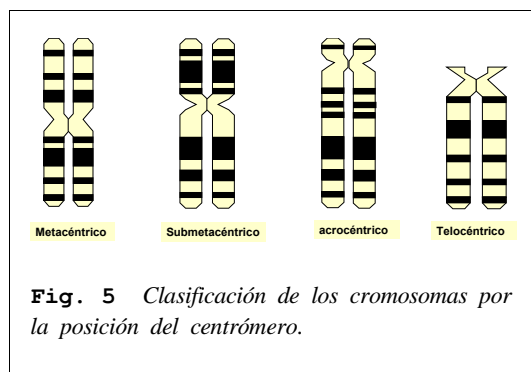


Fig. 5 Clasificación de los cromosomas por la posición del centrómero.

EL CARIOTIPO

Se llama **cariotipo** al número, forma y tamaño de los cromosomas de una determinada especie. Esto es, al conjunto de los cromosomas de una célula. Los cromosomas de una célula pueden ser observados al microscopio óptico, fotografiados y sobre estas fotografías pueden contarse y medirse con toda facilidad. Los cromosomas pueden recortarse de la fotografía y ordenarse por su tamaño, de mayor a menor, y por la posición del centrómero. Esta distribución ordenada de los cromosomas recibe el nombre de **ideograma**. El estudio de los cariotipos ha permitido descubrir los siguientes aspectos importantes:

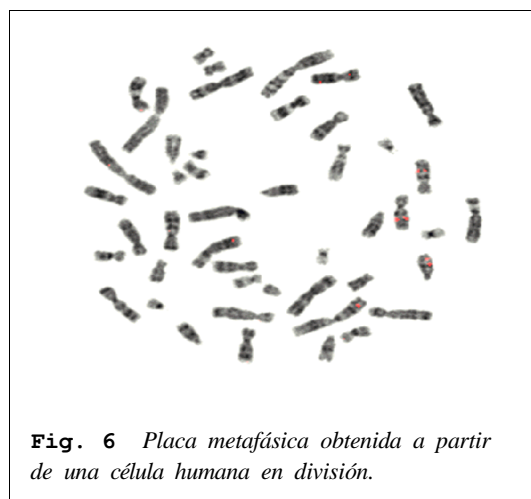


Fig. 6 Placa metafásica obtenida a partir de una célula humana en división.

1º) El número de cromosomas es fijo para cada especie animal o vegetal (Ley de la constancia de los cromosomas). Así, por ejemplo, las células humanas tienen 46 cromosomas, 48 las del chimpancé, 12 las de la mosca común, 2 las de la lombriz intestinal del caballo, etc. El número de cromosomas oscila en los seres vivos entre 2 y varios cientos. Es de destacar que este número no está en relación con la mayor o menor complejidad evolutiva del organismo.

2º) El número de cromosomas de las **células somáticas** (no reproductoras) de la mayoría de los animales, plantas y hongos es siempre par, excepto si se tienen anomalías en el número de cromosomas, ya que cada célula somática dispone de dos juegos de cromosomas y cada cromosoma de una serie tiene su **homólogo** en la otra. En los **ideogramas** los cromosomas se agrupan por parejas de homólogos. Los cromosomas homólogos provienen cada uno de un progenitor. Es por esto que contienen información para los mismos caracteres pero no necesariamente la misma información, pues uno de los progenitores ha podido aportar un gen para un carácter y el otro progenitor otro gen diferente.

3º) El número de cromosomas de cada serie recibe el nombre de número **haploide** o **n** y, como ya se ha dicho, ha sido heredado de uno de los progenitores. En la especie humana $n=23$. El número total de cromosomas es el número **diploide** o **2n**. Así, en la especie humana $2n=46$. Siendo **n** y **2n** las **fórmulas cromosómicas** haploide y diploide respectivamente.

4º) En muchos grupos de seres vivos, por ejemplo en los mamíferos, los cariotipos del macho y de la hembra son diferentes. Así la mujer tiene dos cromosomas X (**XX-homogamética**) y el hombre tiene un cromosoma X y otro Y (**heterogamético-XY**). Estos cromosomas que determinan el sexo se llaman, por ser distintos, **heterocromosomas**. En las aves es al contrario, el macho es **homogamético (ZZ)** y la hembra **heterogamética (ZW)**. El resto de los cromosomas que no determinan el sexo son los **autosomas**.

El estudio del cariotipo tiene un gran interés en medicina porque algunos síndromes

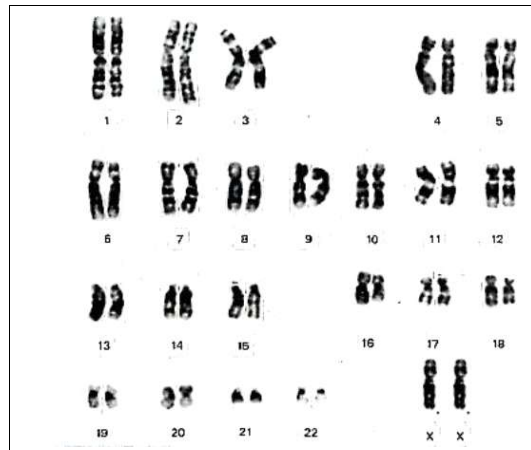


Fig. 7 Ideograma del cariotipo de una mujer.

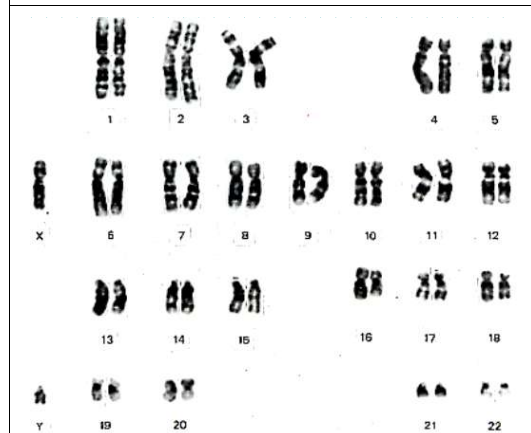


Fig. 8 Ideograma del cariotipo de un hombre.

Especie	nº
La especie humana.....	46
El chimpancé.....	48
El perro.....	78
Toro/vaca.....	60
Gallo/gallina.....	78
Rana.....	26
Mosca.....	12
Maíz.....	20
Trigo.....	46
Algodón.....	52

Fig. 9 Número de cromosomas de células diploides de diferentes especies.

son debidos a cromosomas de más, de menos o a cromosomas incompletos. En particular, la llamada trisomía 21 o síndrome de Down en la que el individuo afectado presenta tres cromosomas 21 en lugar de dos y por lo tanto, su cariotipo tiene 47 cromosomas en lugar de los 46 de la fórmula diploide normal. Estas alteraciones en el número de cromosomas del cariotipo y sus causas serán estudiadas más adelante.