

## TEMA 29

### La Meiosis

#### 29.1.- La reproducción de los seres vivos. Los ciclos biológicos.

El concepto de reproducción, referido a los seres vivos, significa propagarse o conservar las especies. Para ello, la naturaleza dispone de dos mecanismos: la reproducción sexual y la reproducción asexual; por tanto, el sexo no es imprescindible para la reproducción.

Los organismos unicelulares, como los protozoos, amebas... pueden reproducirse mediante una simple división mitótica mediante la cual se producen dos organismos iguales entre sí generalmente, e idénticos al progenitor, genéticamente hablando. También la mayoría de las plantas se propagan vegetativamente formando agregados pluricelulares que posteriormente se separan de la planta madre. De manera semejante, un solo individuo pluricelular animal inferior, puede producir descendientes por gemación. Otros seres, como las anémonas y los gusanos, se dividen en dos mitades, cada una de las cuales regenera la otra mitad que falta. Asimismo, existen especies de lagartos, constituidas exclusivamente por hembras, que se reproducen sin apareamiento. Esta **reproducción asexual**, que es sencilla y directa, da lugar a una descendencia que es genéticamente idéntica al organismo progenitor.

En cambio, la **reproducción sexual** implica la mezcla de los genomas procedentes de dos individuos distintos produciendo descendientes que se diferencian genéticamente entre sí y también de sus padres. Parece que la reproducción sexual presenta grandes ventajas, ya que ha sido adoptada por la gran mayoría de plantas y animales (seres superiores). Incluso muchos procariontes y otros organismos que normalmente se reproducen asexualmente, de vez en cuando adoptan la reproducción sexual dando lugar así a descendencia con nuevas combinaciones de genes. La reproducción sexual aporta un intercambio de genes dentro de una población, y es precisamente ese flujo de genes el que va a permitir la supervivencia de la especie ya que implica una capacidad de adaptación a las variaciones que se producen en el medio ambiente, generación tras generación. Pero hay que tener en cuenta que, el flujo de genes puede provocar tanto una adaptación como un perjuicio, pero en general nos va a interesar la supervivencia de la especie.

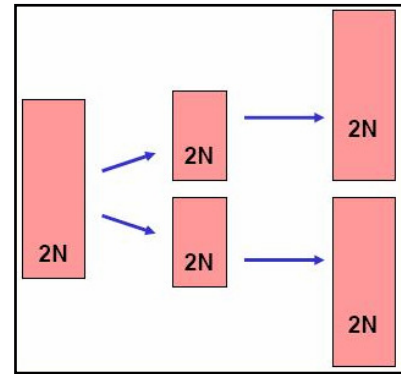
A nivel celular, esto se consigue mediante un tipo especial de división, la **meiosis**.

#### *Reproducción asexual:*

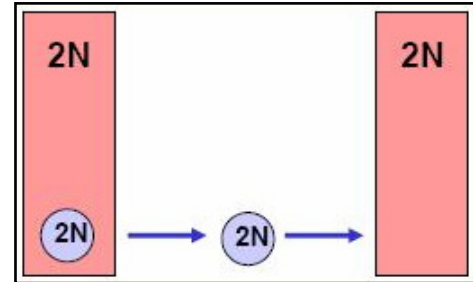
En la naturaleza encontramos organismos pluricelulares que no utilizan la meiosis, como método de formación de gametos, y por tanto, no se reproducen sexualmente. Aunque también podemos encontrar organismos que según la situación, las condiciones, etc. utilice un método reproductivo u otro. En este grupo podríamos englobar a las bacterias, que pueden reproducirse por varios mecanismos, y uno de ellos es la conjugación bacteriana, que es un método pseudosexual. Según el número de células que den lugar al organismo, podemos clasificar la reproducción asexual en:

## TEMA 29: La Meiosis

- **Policitogénica:** en este mecanismo, son varias células las que van a dar lugar al nuevo organismo. Ocurre sobre todo en vegetales y en procesos de gemación llevados a cabo por algunos animales inferiores, en los que parte del organismo adulto se desgaja, para formar un nuevo individuo que posteriormente será independiente, y que se caracteriza porque es genéticamente idéntico al progenitor.



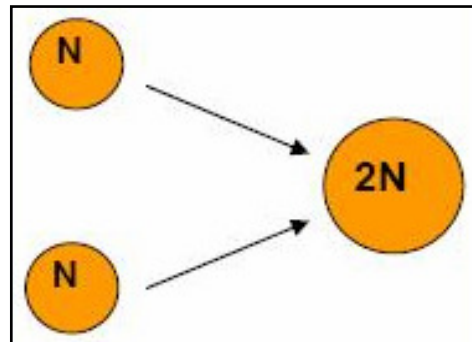
- **Monocitogénica:** en este mecanismo, el nuevo organismo procederá de una sola célula. Este es el caso, por ejemplo, de las esporas, que en determinadas condiciones (ambientales...) darán lugar a un nuevo individuo.



### Reproducción sexual:

La diferencia más importante con respecto a la reproducción asexual es que la información genética del individuo o individuos progenitores no es igual a la de los nuevos organismos.

El ciclo de la reproducción sexual supone una alternancia de generaciones de células **haploides** ( $n$ ), cada una de las cuales contiene una dotación sencilla de cromosomas, con generaciones de células **diploides** con doble dotación cromosómica ( $2n$ ). Cuando dos células haploides se fusionan en el proceso conocido como fecundación formando una célula diploide, sus genomas se mezclan. Posteriormente, cuando un descendiente de estas células diploides se divide mediante el proceso de la *meiosis*, se generan nuevas células haploides.



Durante la meiosis, los cromosomas de la dotación diploide intercambian DNA mediante *recombinación genética*, antes de separarse para formar una nueva dotación haploide. Puesto que cada dotación cromosómica contiene genes procedentes de una célula mezclados con los genes de otra célula, ambas de la generación haploide anterior, cada una de las nuevas generaciones haploides recibirá una dotación genética distinta. Así, a través de ciclos de haploidía, fusión celular, diploidía y meiosis, desaparecen antiguas combinaciones de genes y se forman otras nuevas.

Este mecanismo favorece la supervivencia de la especie variando las dotes genéticas, pero a veces, son seleccionados genes defectuosos, que pese a ello, son capaces de aportar algún tipo de ventaja, como es el caso de la enfermedad denominada "rasgo de anemia falciforme".

## TEMA 29: La Meiosis

=====

### RECUERDO DE LA ANEMIA FALCIFORME

La anemia falciforme es una enfermedad molecular de la hemoglobina. Se conocen más de 300 variantes genéticas de la hemoglobina en la población humana. Cada variante de hemoglobina es el producto de una alteración genética. La mayoría de estas variantes se diferencian tan sólo en un único aminoácido.

A cada variante de un gen se le llama alelo. Debido a que los seres humanos poseen en general dos copias de cada gen, un individuo puede tener dos copias de un alelo (siendo entonces homocigoto para ese gen) o cada una de las copias corresponder a un alelo diferente (heterocigoto).

La anemia falciforme es una enfermedad hereditaria humana. Los eritrocitos de estos individuos son anormales (alargados, delgados y con forma de media luna que se asemejan a la hoja de una hoz) y menos numerosos. Además de haber un número extraordinariamente elevado de células inmaduras.

Cuando la hemoglobina de las células falciformes (hemoglobina S; HbS) se desoxigena, pasa a ser insoluble y forma polímeros que se agregan en fibras tubulares. La hemoglobina normal (hemoglobina A; HbA) sigue siendo soluble cuando se desoxigena. Las fibras insolubles de la hemoglobina S desoxigenada son las responsables de la deformación en forma de hoz de los eritrocitos.

Las propiedades alteradas de la hemoglobina S se deben a la sustitución de un único aminoácido, una Val en lugar de un Glu, en la posición 6 de las dos cadenas  $\beta$ . El grupo lateral (R) de la valina no posee carga eléctrica, mientras que el glutamato tiene una carga negativa a pH 7,4. Por lo tanto la HbS tiene dos cargas negativas menos que la HbA, una por cada una de las cadenas  $\beta$ . La sustitución del Glu por la Val crea un punto de contacto hidrofóbico 'adhesivo', que se sitúa en la superficie exterior de la molécula. Estos puntos adhesivos hacen que las moléculas de desoxihemoglobina S se asocien anormalmente entre ellas, formando los largos agregados fibrosos característicos de esta enfermedad.

La anemia falciforme es una enfermedad genética en la cual un individuo ha heredado el alelo para esta enfermedad de ambos progenitores. La anemia falciforme se presenta en individuos homocigotos del gen codificante de la subunidad  $\beta$  de la hemoglobina.

Las personas con anemia falciforme sufren crisis recurrentes que les provocan un agotamiento físico. Se sienten débiles, tienen vértigo y les falta el aire, además de sufrir un aumento del pulso y soplos cardíacos. El contenido en hemoglobina de su sangre es sólo la mitad del normal, de 15 a 16 g/100 mL, debido a que los eritrocitos falciformes son muy frágiles y se rompen con facilidad (mientras que los glóbulos rojos normales duran unos 120 días en la corriente sanguínea, los eritrocitos falciformes mueren después de sólo unos 10 a 20 días), lo que provoca una anemia o insuficiencia permanente de glóbulos rojos. Una consecuencia aun más grave es que los capilares quedan bloqueados por los eritrocitos alargados y con formas anormales, provocando un intenso dolor e interfiriendo con las funciones normales de los órganos, siendo esto una de las causas principales que provocan la muerte temprana.

Los individuos que reciben un solo alelo y que, por tanto, son heterocigotos, sufren una enfermedad más leve llamada rasgo de la anemia falciforme; sólo un 1 % de sus eritrocitos son falciformes en estado de desoxigenación. Estos individuos pueden tener una vida completamente normal si evitan el ejercicio vigoroso u otros esfuerzos.

Las personas con anemia falciforme suelen morir en su infancia si no reciben tratamiento médico. Pero el alelo de la anemia falciforme es sorprendentemente común en algunas partes de África. La investigación sobre la persistencia de un alelo de HbS, con efectos negativos en los individuos homocigotos, llevó al descubrimiento de que este alelo aporta una pequeña pero importante resistencia, en individuos heterocigotos, a formas letales de la malaria. La selección natural ha dado como resultado una población de alelos que compensan los efectos negativos del estado homocigoto frente a la resistencia a la malaria que aporta el heterocigoto.

=====

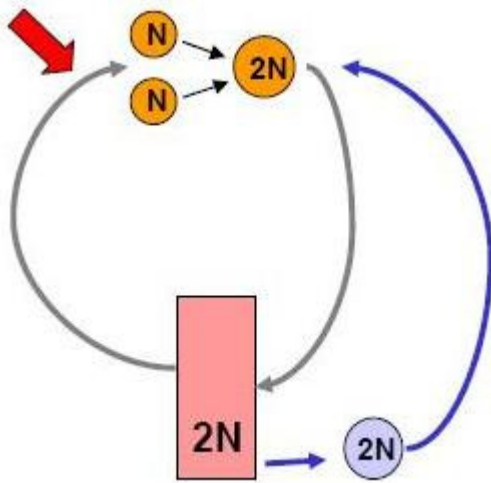
Podemos definir un **ciclo biológico** como aquella secuencia de procesos que permite que el número de cromosomas permanezca constante en los seres vivos con reproducción sexual. Los ciclos biológicos los clasificamos en:

- Ciclo diplofásico.
- Ciclo haplofásico.
- Ciclo haplo-diplofásico.

## TEMA 29: La Meiosis

### CICLOS BIOLÓGICOS

#### Ciclo diplofásico

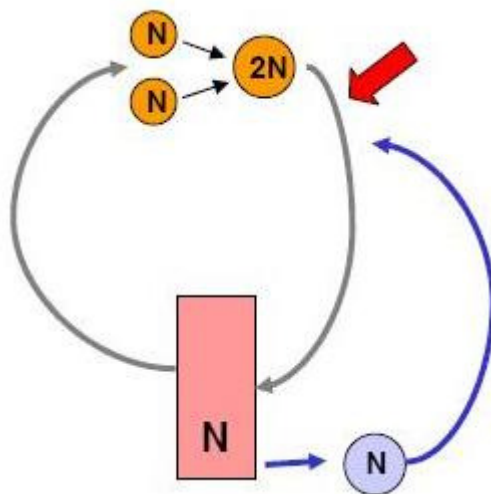


Las células del organismo con ciclo diplofásico son diploides durante toda la vida del organismo. Es el caso de los humanos.

Las células somáticas son  $2n$ , crecen como tal desde el momento de la fecundación a partir de la célula huevo. Por meiosis se formarán células haploides o gametos ( $n$ ), que al fecundar darán de nuevo el organismo diploide.

Puede producirse la formación de nuevos individuos por vía asexual (flecha azul), de forma policitogénica o monocitogénica. Algunos organismos compaginan las dos vías (sexual y asexual), según la situación. Este fenómeno en los humanos no se produce de forma natural, pero sí mediante técnicas de clonación, que a partir de células determinadas forman tejidos, e incluso individuos, como ocurrió con la oveja *dolly*.

#### Ciclo haplofásico

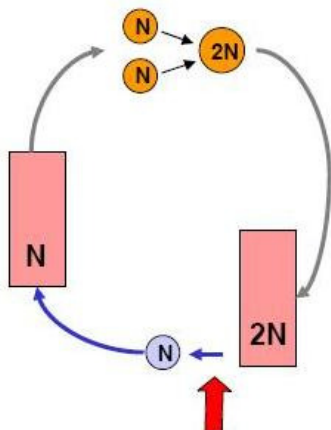


Este ciclo es propio de organismos como las algas.

Las células de los organismos que cumplen este ciclo, están la mayor parte de su vida en fase haploide, es decir, con un solo cromosoma de cada tipo. Pero en determinado momento, los gametos haploides de ese organismo, también haploide se combinan con los gametos de otro organismo, formando un cigoto diploide, que será el que sufrirá la meiosis, formándose individuos haploides.

El ciclo haplofásico también tiene una vía asexual, que consiste en que una célula del organismo se comienza a diferenciar del organismo, dando lugar a otro organismo independiente.

#### Ciclo haplo-diplofásico



El ciclo haplo-diplofásico es propio de seres vivos como los helechos.

El organismo, que estaría en fase diploide, por ejemplo, mediante meiosis, formaría células haploides, que van a dar lugar a organismos haploides, que a su vez, formarán los gametos, también haploides, y tras combinarse alguno de estos gametos del organismo con gametos de otros organismos, en el proceso de fecundación, se desarrollaría de nuevo el individuo diploide, volviendo a comenzar el ciclo.

## TEMA 29: La Meiosis

### 29.2.- Fases de la meiosis.

La meiosis es un proceso por el cual se forman células haploides a partir de células diploides, es decir, se produce una reducción del número de cromosomas.

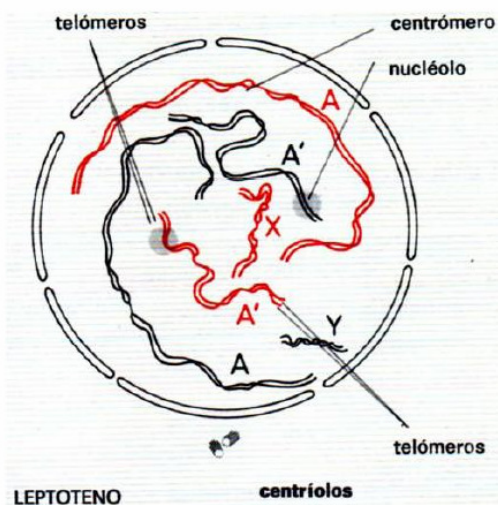
Es un proceso muy diferente a la mitosis, pese a que hay partes de la división meiótica que son muy parecidos. La meiosis es un proceso que dividimos en:

- **División meiótica I**, que se caracteriza por una profase I muy larga, y en la que diferenciamos a su vez varias fases que en la mitosis no tienen lugar. Presenta el resto de etapas: prometafase I, metafase I, anafase I y telofase I, pero no exactamente iguales a las de la mitosis.
- **Interfase**, de duración muy breve.
- **División Meiótica II**, proceso idéntico a la mitosis.

#### *División meiótica I:*

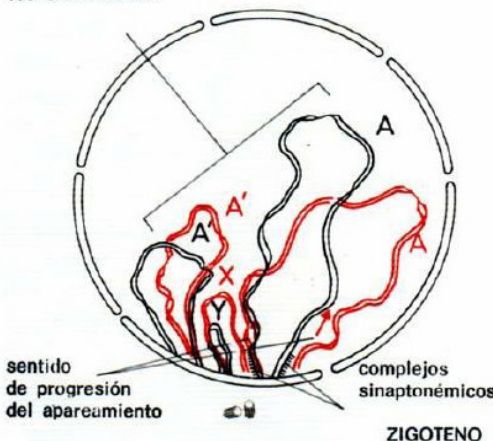
La primera división meiótica también recibe el nombre de división meiótica reduccional, ya que se reduce el número de cromosomas de la célula a la mitad, es decir, en los humanos, de 46 cromosomas, pasamos a tener 23; por tanto, las células formadas serán haploides, pero con dos cromátidas por cromosoma. Las fases de esta primera división meiótica son:

- o Profase I: es una fase muy larga, que puede durar desde varios meses, hasta incluso años.
  - Leptotene:



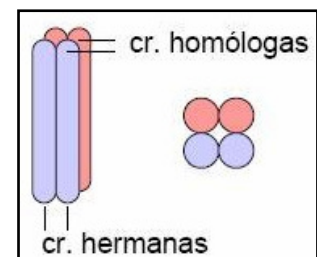
- Morfológicamente se observa un aumento del volumen del núcleo, que por ejemplo, en los ovocitos es muy vistoso; al núcleo de los ovocitos maduros se les denomina vesícula germinal.
- Se va a producir también una compactación de los cromosomas y se individualizan. Estos cromosomas, puesto que acaban de duplicar su información genética, poseen dos cromátidas, pero solo se visualiza una.
- Se observa también como los telómeros contactan con la membrana nuclear. Se adhieren a esta envoltura a través de lo que se conoce como placa de unión o de adhesión.
- En algunos casos se observa la aparición de cromómeros, que son regiones muy condensadas de la cromatina. Estas estructuras se ven mejor durante la fase diploteno.
- El nucleolo permanece en el núcleo, no desaparece todavía.

disposición en «ramillete» de los cromosomas



#### ▪ Cigotene:

- En esta fase, los cromosomas empiezan a localizar a los homólogos. Cada cromosoma paterno va a ir a buscar al materno y van a empezar a unirse (aparearse) a lo largo de toda su longitud.
- Con este apareamiento se formará pues, lo que se conoce como bivalentes o tétradas, que corresponde a los dos cromosomas con sus cromátidas hermanas unidos a través de las cromátidas homólogas.



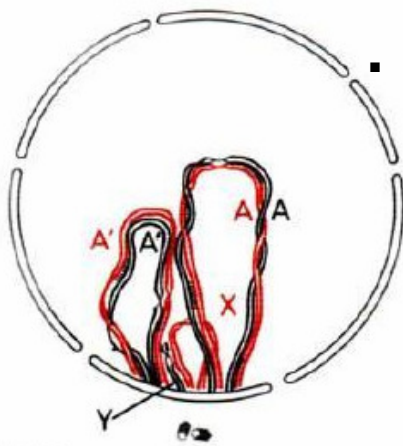


## TEMA 29: La Meiosis

- Esta unión de los cromosomas se lleva a cabo mediante una estructura proteica llamada complejo sinaptonémico, que es la estructura que va a permitir el intercambio de información genética.
- Como hemos dicho, los cromosomas homólogos empiezan a reconocerse y a unirse: el 1 con el 1, el 2 con el 2, etc. Pero los cromosomas sexuales no son iguales en todos los casos. Si la dotación es XX, la unión será perfecta, como en el resto de los cromosomas (autosómicos). Si la dotación es XY, correspondiente al varón, encontramos unas regiones homólogas entre ambos cromosomas, llamadas pseudoautosómicas. Tanto el X como el Y presentan dos regiones pseudoautosómicas:
  - Una mayor, que es más grande y que tiene 2,4 millones de pares de bases, y que está en el extremo del brazo corto de ambos cromosomas.
  - Una menor, formada por 300.000 pares de bases, y que se localiza cerca del extremo terminal del brazo largo.

Estos cromosomas se reconocerán y se unirán por las partes terminales, y sobre todo en la región mayor se producirá el fenómeno de recombinación. Estas regiones pseudoautosómicas nunca van a inactivarse para que se pueda llevar a cabo la recombinación.

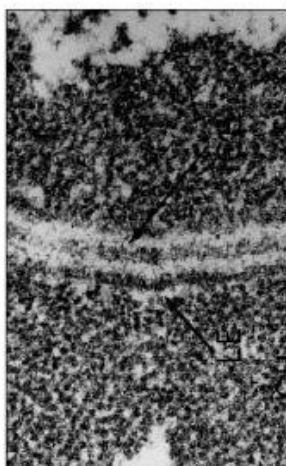
- Además, se ve como los telómeros se acercan entre sí, y los cromosomas toman una disposición en “ramillete” o del francés *bouquet*.



### Paquitene:

- En esta fase, los cromosomas homólogos van a continuar uniéndose, hasta terminar de hacerlo a lo largo de toda su longitud. Con esto, se acabará de formar el complejo sinaptonémico. Esta unión comienza a establecerse por los extremos, que van a juntarse por lo que continuarán uniéndose como una cremallera. En otros casos los cromosomas se unen por cualquier punto y a partir de ahí prosiguen con la unión.
- Por otra parte, el bivalente o tétrada presenta su mayor grosor gracias a la aparición del complejo sinaptonémico, una estructura que está formada por un largo núcleo proteico, en forma de escalera, en cuyos lados opuestos se alinean los dos homólogos duplicados formando un par cromosómico largo y lineal. Las cromátidas hermanas de cada homólogo se mantienen estrechamente unidas entre sí, con su DNA extendiéndose desde el lado correspondiente de la escalera proteica, formando una serie de bucles. En la región central, un elemento central está conectado mediante filamentos transversales a los elementos laterales que se disponen a lo largo de cada par de cromátidas hermanas, formando los lados de la

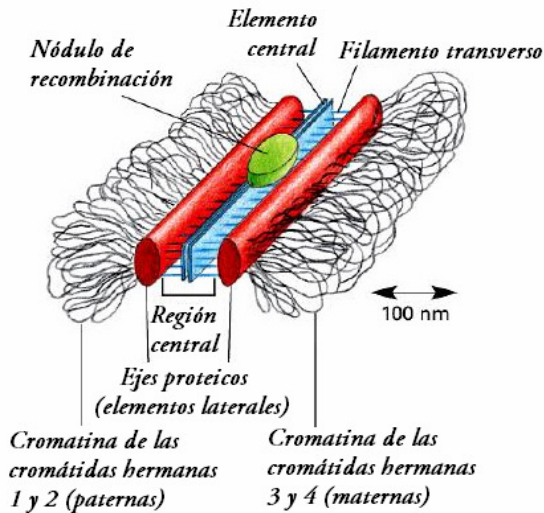
PAQUITENO



Microfotografía de un complejo sinaptonémico en paquitene

0.1  $\mu\text{m}$

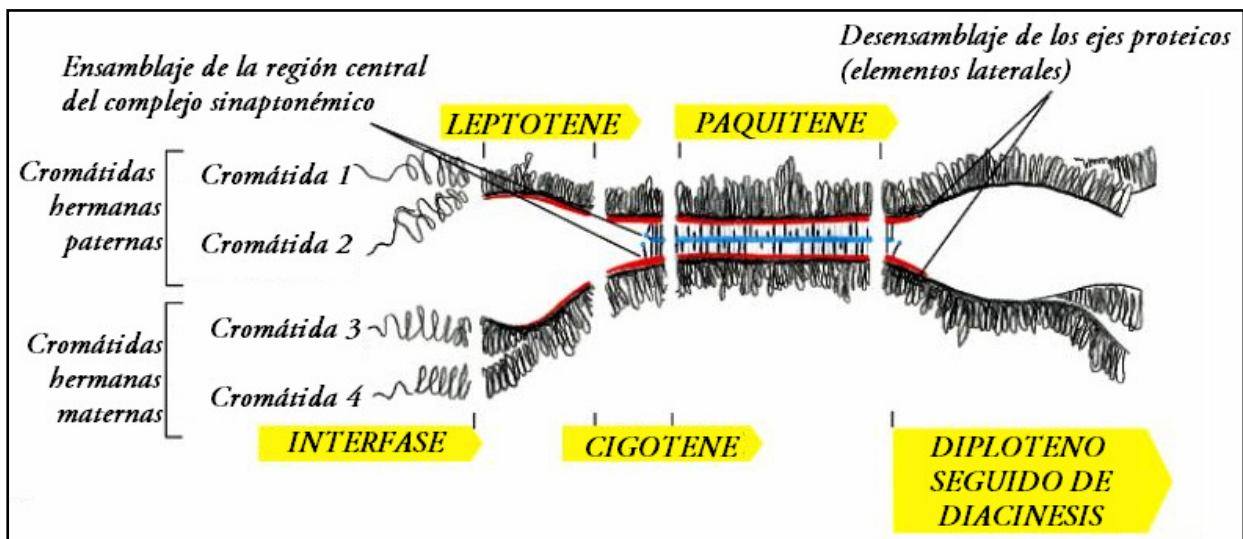
## TEMA 29: La Meiosis



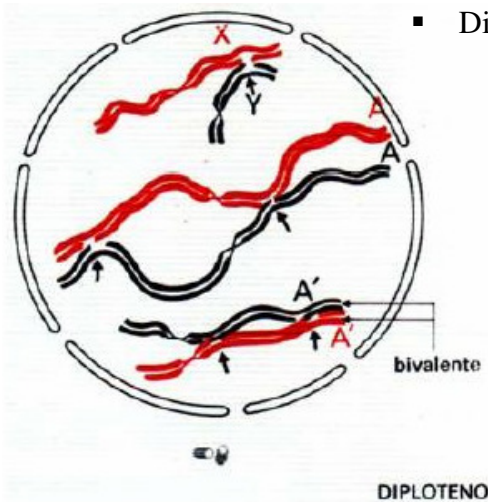
escalera. La separación entre cromosomas, o entre los elementos centrales es de 100 nm, que es el diámetro del complejo sinaptonémico. Se han identificado y localizado varios componentes proteicos que forman parte de estructuras específicas del complejo sinaptonémico. Uno de los más importantes son los **nódulos de recombinación**, que son de grandes complejos proteicos (multienzimáticos) que se sitúan a intervalos a lo largo de todo el complejo sinaptonémico, dispuestos como balones (estructura oval) sobre una escalera entre los dos cromosomas homólogos, es decir, que abarcan parte del diámetro del complejo sinaptonémico. Los entrecruzamientos que tienen lugar durante la profase de la división meiótica I se pueden dar en cualquier sitio a lo largo de todo el cromosoma, aunque no están distribuidos uniformemente. Existen sólidas pruebas indirectas que demuestran que, en general, la recombinación genética de la meiosis está catalizada por los nódulos de recombinación. Estas estructuras comienzan a aparecer en leptotene, etapa en la que aparecen alrededor de 500, pero van a ir desapareciendo hasta unos 20, en paquitene.

Toda la maquinaria del complejo sinaptonémico tiene ciertos parecidos con la que se encarga de reparar el ADN cuando se produce la rotura de las dos hebras, en la que se utiliza información de la cromátida hermana por el siguiente motivo: en el ADN se van a producir una serie de roturas provocadas por determinadas proteínas, y en vez de repararse esas roturas, se producirán fenómenos de recombinación, también llamado *over crossing*. Las proteínas que se utilizan en este proceso tienen analogías con las proteínas reparadoras.

El complejo sinaptonémico no participa directamente en el intercambio de información (recombinación), pero de alguna manera lo dirige para que se produzca este fenómeno entre cromátidas homólogas, y no entre cromátidas hermanas.



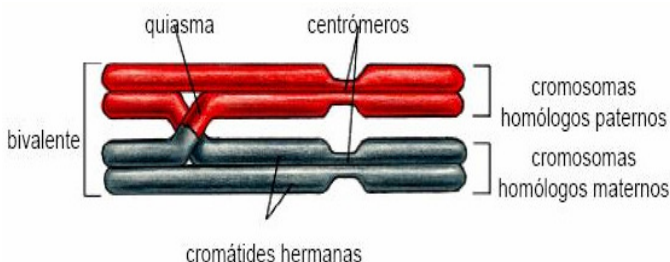
## TEMA 29: La Meiosis



### ▪ Diplotene:

- En esta fase los cromosomas van a perder ese contacto íntimo que venía facilitado por el complejo sinaptonémico, ya que éste va a desensamblarse. Pero los cromosomas permanecerán unidos por los puntos por los que se produjo la recombinación. Hablamos por tanto de quiasmas, que son los sitios morfológicos de unión entre cromosomas homólogos, correspondientes a los sitios de recombinación, *crossing over* o entrecruzamiento.
- Además, los cromosomas, que todavía tienen dos cromátidas, están compactados de tal forma que solo se ve una.
- El número de quiasmas que se producen es diferente según cada especie, pero en general, podemos decir que no se producen muchos, pero como mínimo tiene que producirse uno por cada par de cromosomas homólogos ya que sino, durante la segregación de los cromosomas se producirán aneuploidías. Pero la formación de un entrecruzamiento disminuye la probabilidad de que se produzca un segundo entrecruzamiento en cualquier lugar próximo del cromosoma. Esta "interferencia" parece asegurar que incluso los cromosomas cortos presenten al menos un entrecruzamiento, que es el requerimiento indispensable para que los homólogos se segreguen normalmente. Aunque las bases moleculares de esta interferencia son desconocidas, se cree que el complejo sinaptonémico interviene en el proceso.

Los cromosomas sexuales X e Y sufren los fenómenos de recombinación en esas zonas pseudoautosómicas, que son las zonas por las cuales se reconocen entre sí y permiten su apareamiento.



- Algunos ovocitos permanecen en diplotene de forma estática.
- El ADN de los cromosomas durante esta fase puede ser transcrito a ARN ya que la cromatina no está totalmente condensada.

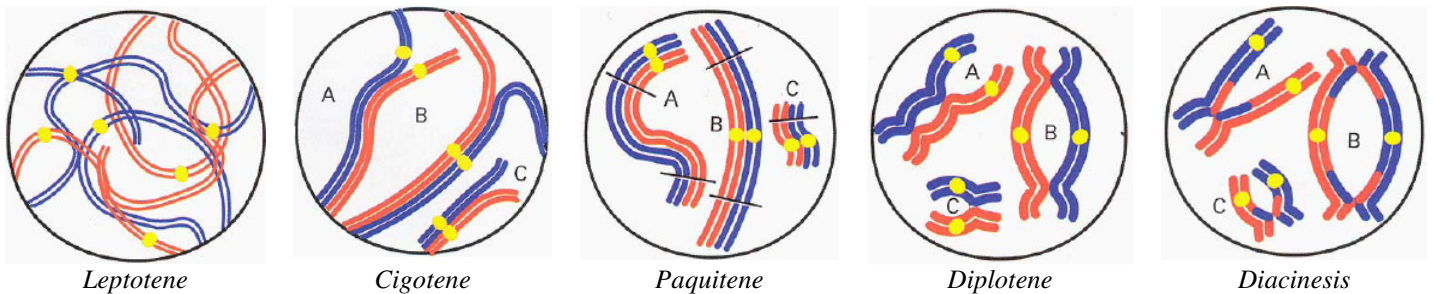


## TEMA 29: La Meiosis

- Diacinesis:
  - Esta fase comienza cuando la célula recibe una señal determinada.
  - Las cromátidas hermanas de los cromosomas homólogos se visualizan por separado ya que se condensa más la cromatina.
  - Al tiempo que los cromosomas apareados siguen separándose, los quiasmas se desplazan hacia los extremos del cromosoma, es decir, hacia los telómeros. Este proceso se denomina terminalización. Este proceso será mucho mayor en la prometafase.

---

### Comparación evolutiva de la Profase I de la meiosis



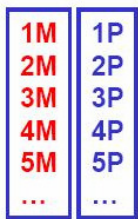
- 
- Prometafase I:
    - En esta fase se produce con mayor fuerza el desplazamiento de los quiasmas hacia los telómeros.
    - Tiene ciertos parecidos con la prometafase de la mitosis ya que en este caso también concluye cuando se rompe la envoltura nuclear y por tanto, los cromosomas son accesibles a los microtúbulos del citoesqueleto, con lo que los cromosomas se irán desplazando hacia la placa metafásica. Pero ya en prometafase y luego en metafase y anafase encontraremos unas diferencias ya los cromosomas aparecen apareados y recombinados.
  - Metafase I:
    - En esta fase, el huso tira de los cromosomas hacia el polo correspondiente, al tiempo que los quiasmas siguen uniendo a los cromosomas y se siguen desplazando.
    - Como los cromosomas están unidos por los quiasmas, no se separarán por los centrómeros, sino por esos quiasmas.
    - A diferencia de la mitosis:
      - Los microtúbulos cinetocóricos de las cromátidas hermanas están orientados en la misma dirección, es decir, hacia un único polo.
      - Los cinetocoros de las cromátidas hermanas funcionan como uno solo.

## TEMA 29: La Meiosis

- La orientación de los cromosomas homólogos (paternos y maternos) en el plano ecuatorial es al azar. Por lo tanto, la separación de los homólogos en la anafase también será al azar.

- Anafase I:

- Durante esta etapa se va a producir la separación de los cromosomas homólogos que estaban unidos a través de los quiasmas.
- Los homólogos duplicados se mantienen unidos en los quiasmas solo porque los brazos de las cromátidas hermanas están adheridos el uno al otro en toda su longitud por cohesinas. Al comenzar la anafase los brazos de las cromátidas hermanas se separan, al degradarse las cohesinas que los mantienen unidos, permitiendo la separación de los homólogos duplicados a nivel de los quiasmas y su traslado hacia los polos del huso. Las cromátidas hermanas de cada homólogo duplicado permanecen unidas a los centrómeros por cohesinas meióticas, las cuales serán degradadas en la anafase de la meiosis II.



Caso muy improbable



Caso probable

- Como dijimos, la segregación se producirá al azar, y la probabilidad de que los cromosomas maternos vayan todos juntos a la misma célula hija, así como los paternos, es muy pequeña; se calcula en  $2^{23}$  probabilidades aproximadamente el hecho de que se formen gametos iguales.

- Telofase I:

- Se producirá la citocinesis para separar definitivamente la célula progenitora en dos células hijas que tendrán la mitad de la información genética que dicha célula madre, pero cuyos cromosomas tendrán dos cromátidas.
- En ocasiones reaparece la membrana nuclear y el nucleolo. También se puede producir una pequeña descondensación de la cromatina de las dos células.

### Interfase:

Como hemos dicho, se van a reconstruir las membranas nucleares y el nucleolo (según las especies), y además se descondensará parcialmente la cromatina. Todo esto va a ocurrir en un espacio de tiempo muy breve.

Por otra parte, como tras la meiosis I no hay síntesis de ADN, parece que las células pasen directamente de telofase I, a profase II.

### División meiótica II:

Esta segunda división meiótica recibe el nombre de ecuacional ya que el número de cromosomas no varía, es decir, solo se separan las cromátidas hermanas, formándose células haploides con n cromosomas de una sola cromátida. Las fases de esta segunda división meiótica son:

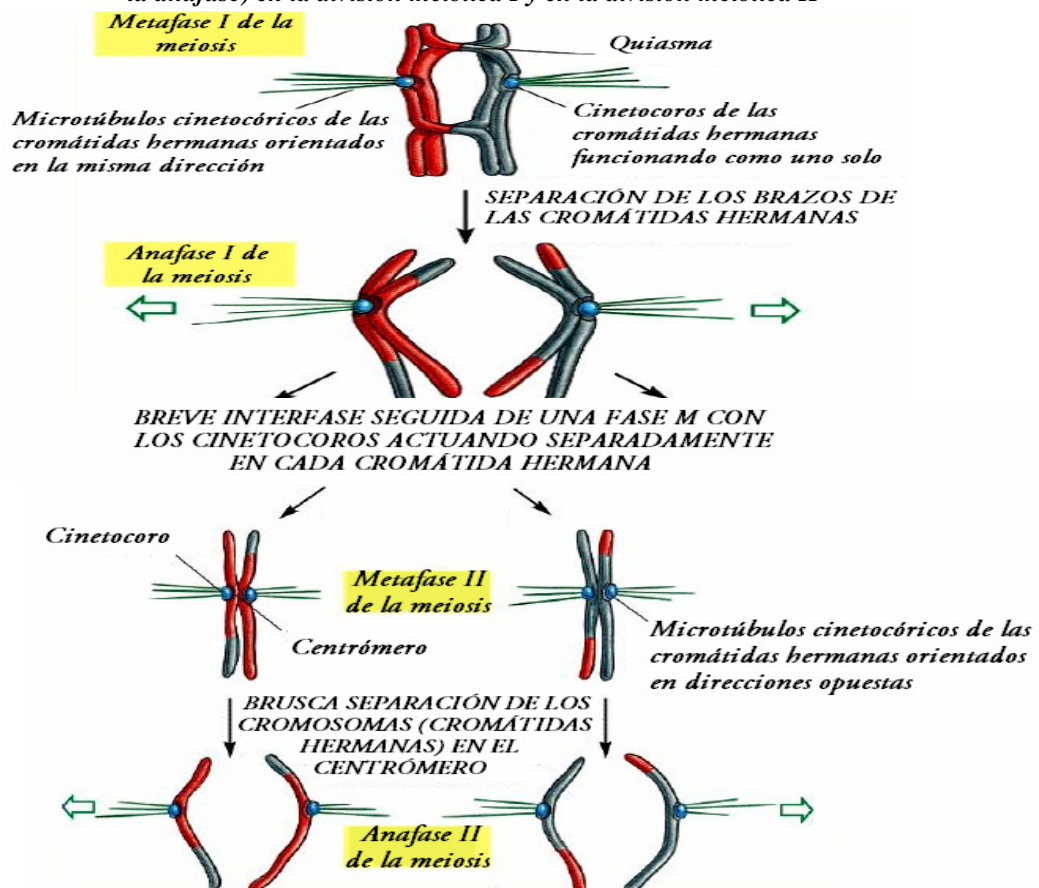
- Profase II:

- Los cromosomas, en caso de haberse descondensado, vuelven a condensarse.
- Se reorganiza el citoesqueleto, de forma adecuada.

## TEMA 29: La Meiosis

- Prometáfase II:
  - La envoltura nuclear se fragmenta, siendo los cromosomas accesibles al citoesqueleto.
  - Los cromosomas se reorganizan y migran hacia el plano ecuatorial unidos a microtúbulos que vienen desde cada polo celular y se unen a los cinetocoros de cada cromátida hermana.
- Metafase II:
  - Los cromosomas se sitúan en la placa ecuatorial. Cada uno de ellos está formado por dos cromátidas unidas por el centrómero, cada una de las cuales tiene asociada un cinetocoro.
- Anafase II:
  - Se separan los centrómeros y cada cromátida emigra hacia el polo correspondiente.
- Telofase II:
  - Se forma la membrana nuclear alrededor de los cromosomas, que se descondensan.
  - Se produce la citocinesis y se obtienen cuatro células hijas, cada una de las cuales tiene la mitad de los cromosomas de la célula madre. Son células haploides y genéticamente distintas, ya que presentan en sus cromosomas el fenómeno de la recombinación.

*Comparación de los mecanismos de alineación de los cromosomas (en la metafase) y de separación (en la anafase) en la división meiótica I y en la división meiótica II*



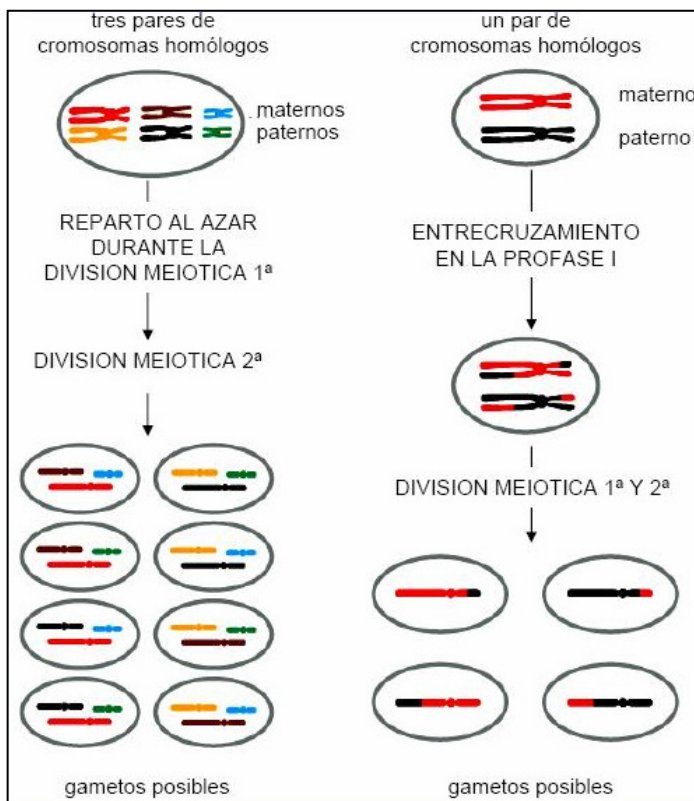
## TEMA 29: La Meiosis

### 29.3.- Origen de la variabilidad genética en la meiosis.

Una de las consecuencias genéticas de la meiosis es el origen de la variabilidad genética. Este fenómeno de la variabilidad se debe a varios factores:

- La recombinación genética ocurrida en la meiosis hace que cada cromosoma intercambie fragmentos con su homólogo.
- Durante la meiosis, los cromosomas se distribuyen al azar para que vaya uno solo de cada par de homólogos a cada gameto.

Como consecuencia de la recombinación en el proceso de meiosis y al proceso de segregación aleatoria de cromosomas homólogos al final de dicha meiosis se puede formar de una célula madre, sólo por este mecanismo,  $2^{23}$  gametos (óvulos o espermatozoides) diferentes ya que si de cada célula humana de 23 parejas de cromosomas (diploides) se obtienen células de sólo 23 cromosomas (haploides), y que cada cromosoma puede provenir de cualquiera de los dos miembros de la pareja original.



Si la célula tiene 3 pares de cromosomas homólogos, y solo mediante fenómenos de colocación de los cromosomas al azar, se obtendrían 8 ( $2^3$ ) gametos distintos.

Si la célula tuviese solo 1 par de cromosomas homólogos, y mediante fenómenos de recombinación obtendríamos 4 gametos diferentes, en este caso. Conforme aumente el número de cromosomas y de quiasmas, aumentará la variabilidad.

Además, podemos decir que en la fecundación, cada gameto se une con otro que aporta un conjunto de genes diferentes, lo que hace que aumente la variabilidad del nuevo individuo ya que se junta información de dos organismos diferentes.



## TEMA 29: La Meiosis

### 29.4.- Comparación entre mitosis y meiosis.

<i>MITOSIS</i>	<i>MEIOSIS</i>
<i>Semejanzas</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En ambos procesos la cromatina interfásica se individualiza, se compacta, para formar los cromosomas.</li> <li>- Los componentes del citoesqueleto que intervienen en ambos procesos son los mismos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Microtúbulos cinetocóricos.</li> <li>o Huso mitótico.</li> <li>o Anillo contráctil de actina-miosina.</li> </ul> </li> <li>- En ambos procesos se produce tanto una división del núcleo (cariocinesis), como una división del citoplasma (citoquinesis).</li> </ul>	
<i>Diferencias</i>	
- Tras la duplicación del ADN, el proceso inmediatamente posterior es una división celular.	- En el caso de la meiosis, tras la replicación del ADN tienen lugar dos divisiones celulares.
- Es un proceso corto, ya que puede durar entre media hora y dos horas.	- Es un proceso más largo, ya que puede durar desde varios días, hasta años, como es el caso de los ovocitos.
- Cuando se produce la segregación, cada cromosoma sigue un movimiento independiente del resto de cromosomas.	- Los cromosomas homólogos guardan una estrecha relación entre sí al inicio de la división.
- A cada célula hija le es transmitida una copia exacta del genoma de la célula progenitora, salvo si no hay mutaciones.	- Existen variaciones en el genoma de las células hijas. La posibilidad de que se formen dos gametos iguales es muy pequeña.

### 29.5.- Evolución del número de cromosomas y de la cantidad de DNA durante la meiosis.

En la mitosis veíamos que el número de cromosomas, la cantidad de ADN y las cromátidas de cada cromosoma variaban de acuerdo a la siguiente tabla:

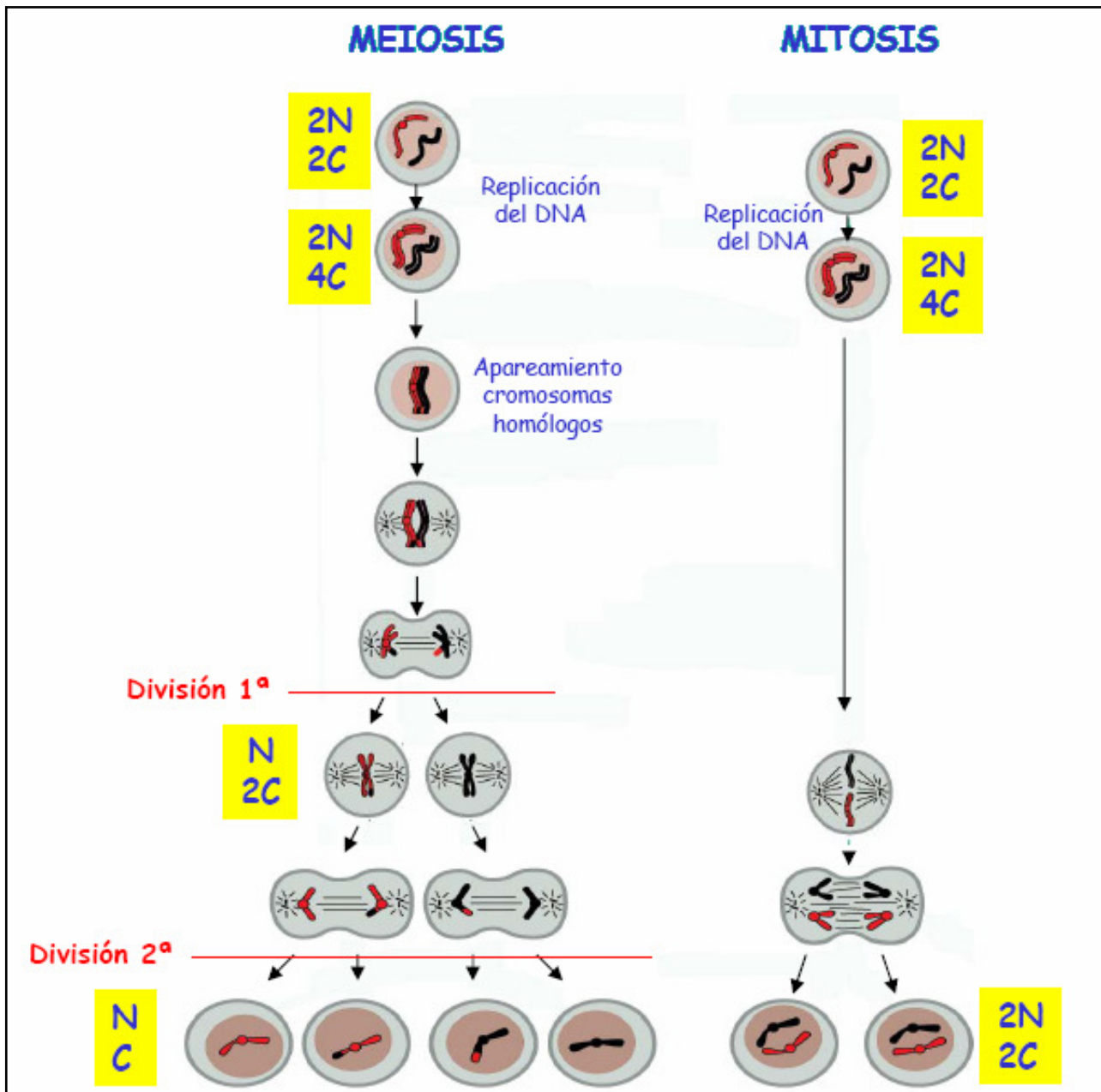
	Interfase (G <sub>1</sub> )	Interfase (S y G <sub>2</sub> )	Mitosis			
			Profase	Prometáfase	Metafase	Anafase
<i>Ploidía</i>	2n	2n	2n		4n	2n
<i>Nº cromátidas/ cromosoma</i>	1	2	2		1	1
<i>Cantidad cromatina</i>	2c	4c	4c		4c	2c

## TEMA 29: La Meiosis

En la meiosis, se produce una evolución muy diferente, pese a que se parte del mismo estadio inicial:

	Interfase ( $G_1$ )	Interfase (S y $G_2$ )	Meiosis I				
			Profase I	Prometafase I	Metafase I	Anafase I	Telofase I
Ploidía	2n	2n	2n			2n	n
Nº cromátidas/cromosoma	1	2	2			2	2
Cantidad cromatina	2c	4c	4c			4c	2c

	Interfase postmeiosis I	Meiosis II				
		Profase II	Prometafase II	Metafase II	Anafase II	Telofase II
Ploidía	n	n			2n	n
Nº cromátidas/cromosoma	2	2			1	1
Cantidad cromatina	2c	2c			2c	c



## TEMA 29: La Meiosis

### 29.6.- Posibles errores genéticos producidos durante la meiosis.

La meiosis es el proceso de reducción celular en el que se forman los gametos haploides a partir de células germinales diploides. Los errores en la meiosis son responsables de las principales anomalías cromosómicas. La meiosis consigue mantener constante el número de cromosomas de las células de la especie para mantener la información genética.

A lo largo de la meiosis se producen muchos fenómenos, alguno de los cuales puede no realizarse correctamente, por cualquier motivo, dando lugar a una serie de errores en los gametos, que en caso de fecundarse, darán lugar en muchos casos a un individuo con alguna mutación. Los fallos pueden producirse a nivel de:

- Mala unión de los microtúbulos del uso a los cromosomas meióticos.
- Fallo en la recombinación, entendido como ausencia de este fenómeno, que causará una mala segregación de los cromosomas, ya que son los entrecruzamientos o quiasmas los que controlan la anafase I.
- Entrecruzamiento desigual entre los dos alelos del gen de tal manera que uno de ellos se pierde.
- Error en el apareamiento de cromosomas, que causará que alguna célula falte algún cromosoma y que en otras, esté duplicado.