

LA MEIOSIS

[Significado biológico de la meiosis](#)

[Procesos fundamentales](#)

[Apareamiento](#)

[Sobrecruzamiento](#)

[Coorientación](#)



Significaco biológico de la meiosis

La gran mayoría de los seres vivos, y especialmente los organismos eucarióticos son capaces de utilizar algún mecanismo de reproducción sexual a lo largo de su ciclo vital. Aunque propiamente no podemos hablar de reproducción sexual en organismos como las bacterias, si podemos decir que mediante la conjugación hay transmisión de material hereditario de un organismo a otro. En la reproducción sexual no hay transmisión de material hereditario de un organismo a otro sino que a partir de material hereditario de dos organismos de la misma especie, se genera un nuevo ser vivo, un nuevo individuo de la misma especie. El proceso mediante el cual dos células provenientes de individuos distintos se unen para generar uno nuevo es lo que llamamos fecundación. Pensemos y reflexionemos sobre la fusión celular que es una de las dos bases de la reproducción sexual. Podríamos pensar que la forma más simple de fecundación sería que se fusionaran dos células cualesquiera pero esto acarrearía un problema muy grave, y es el del aumento ilimitado de material genético.

Supongamos que cada individuo donara a sus hijos todo el material hereditario que posee, como el nuevo individuo proviene de la fusión de dos células tendría doble cantidad de ADN que sus respectivos padres, y sus hijos el doble que él y así sucesivamente. Este proceso sería incompatible con la vida y por tanto hemos de pensar que esas células que gentilmente donan los padres a los hijos han de ser especiales, han de tener justamente la mitad de material hereditario, para que así cuando se fusionen dos células con la mitad de ADN el nuevo individuo tenga igual cantidad que sus predecesores.

La meiosis es el proceso mediante el cual se forman unas células que llamamos gametos y que cuya característica principal es que poseen la mitad de ADN que el resto de las células del individuo. Esta mitad de ADN no es aleatoria, sino que es justamente una dotación o juego cromosómico completo, es decir cada gameto contiene un juego completo de genes localizados en un juego cromosómico completo. Además este juego cromosómico completo, mediante la recombinación y la segregación aleatoria, resulta ser mezcla de los dos juegos que posee el individuo original. Es decir de cada pareja de homólogos se obtiene un cromosoma mezcla del paterno y materno produciéndose así un nuevo juego o dotación cromosómica haploide en el que se han originado unas nuevas combinaciones de genes. De esta forma de un individuo diploide que tiene 2 juegos cromosómicos (uno procedente de su padre y otro de su madre), se obtiene una célula haploide mezcla de ambos progenitores que al unirse con otra célula proveniente de otro individuo de sexo opuesto (fecundación) originará un nuevo individuo con dotación diploide.

La reproducción sexual es la consecuencia de la meiosis y la fecundación, y es un proceso casi

universal en los organismos superiores. En organismos inferiores los gametos masculinos y femeninos suelen ser muy parecidos e incluso iguales, sin embargo en los más evolucionados los gametos son distintos, y además aunque igual en su mecanismo básico, la meiosis rinde 4 gametos por el lado masculino y tan sólo uno por el lado femenino.

↑ Inicio

Procesos fundamentales de la meiosis

La meiosis ocurre en la línea germinal de los organismos superiores y consta de dos divisiones consecutivas sin período de síntesis de ADN entre ellas. Previo a la meiosis sí hay una fase S de síntesis de ADN, con lo cual cada cromosoma de una pareja cromosómica entra en meiosis con dos cromatidios, en la primera división se reduce el número de cromosomas a la mitad ya que en la Anafase se van a separar cromosomas enteros, y después en la segunda división es cuando se separarán los cromatidios de cada cromosoma, así cada gameto llevara un solo juego cromosómico completo con cromosomas de un solo cromatidio.

Aunque no son iguales a las de la mitosis las fases se denominan de igual forma y se les añade un número romano para indicar a que división pertenecen.

FASES DE LA MEIOSIS

Primera división

Profase I

Metafase I

Anafase I

Telofase I

Segunda división

Profase II

Metafase II

Anafase II

Telofase II

La profase I es muy larga y a su vez se subdivide en 5 fases:

Leptotena

Cigotena

Paquitena

Diplotena

Diacinesis

La profase I es la fase más exclusiva de la meiosis ya que en ella tienen lugar los procesos de apareamiento y sobrecruzamiento y van a dejar dispuestos a los cromosomas para que la primera división se reduzca el número de cromosomas a la mitad.

Los tres procesos fundamentales que tienen lugar en la meiosis son:

APAREAMIENTO

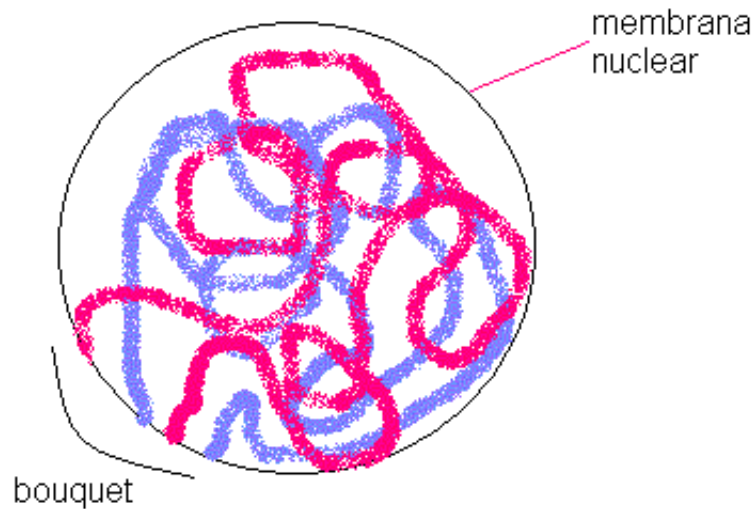
SOBRECruzAMIENTO

COORIENTACIÓN

↑ Inicio

APAREAMIENTO

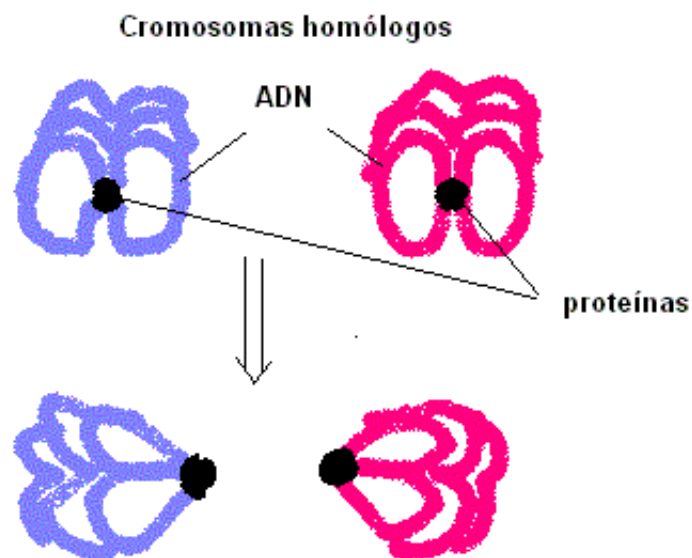
La primera fase de la profase I es la Leptotena, en ella la cromatina esta muy descondensada, formando una maraña de fibras cromosómicas en cierta forma similar a la profase mitótica. La disposición espacial de los cromosomas sin embargo no es aleatoria hay una arquitectura nuclear de tal forma que los telómeros de los cromosomas se encuentran unidos a la membrana nuclear, la cromatina de los cromosomas también se va organizando a lo largo de esta fase de tal forma que se va a conseguir un apareamiento íntimo y homólogo entre los cromosomas de la misma pareja.



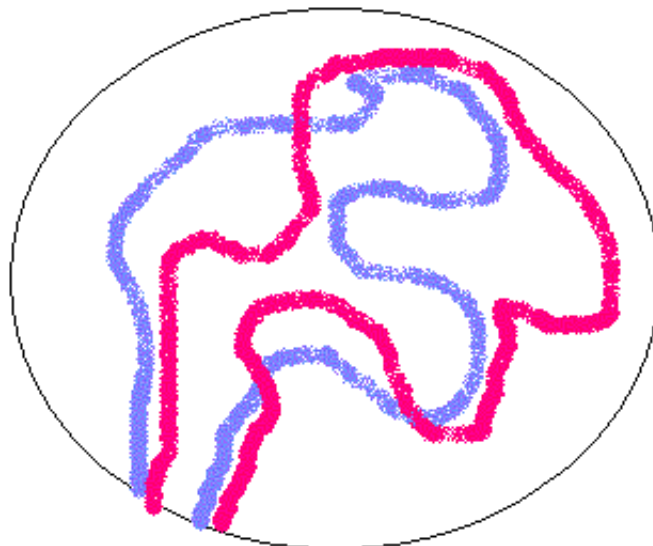
Los telómeros se encuentran anclados a la membrana nuclear y moviéndose a través de ella van confluyendo hacia una región o dominio nuclear dando lugar al denominado bouquet. A su vez la cromatina que forma cada uno de los cromosomas va girando de tal forma que las dos cromátidas se disponen espacialmente hacia un mismo lado dejando expuesta una especie de eje proteico donde se van a disponer una serie de proteínas que están relacionadas con el eje cromosómico y que van a dar lugar al elemento axial y posteriormente al complejo sinaptonémico.

En el siguiente esquema podemos ver en la parte superior como esta la cromatina en cada uno de los cromosomas homólogos, y en la parte inferior la disposición que adopta después.

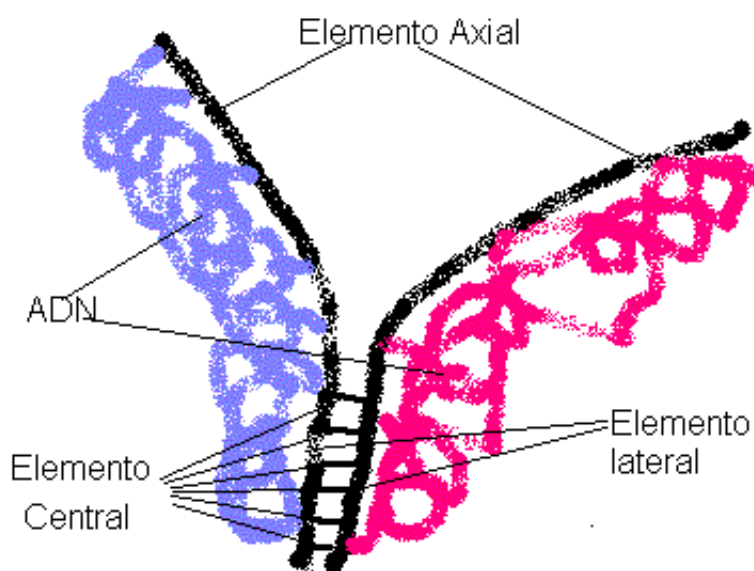
Cambio de la disposición espacial de la cromatina



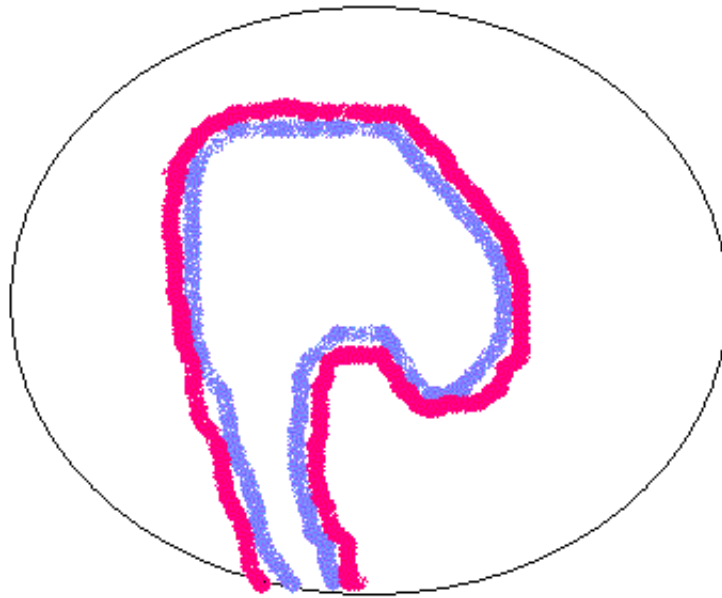
La fase siguiente a la leptotena es la denominada cigotena en ella empieza propiamente el fenómeno de la sinapsis cromosómica. La sinapsis, unión o apareamiento cromosómico empieza generalmente por los telómeros ya que lógicamente si se encuentran próximos entre sí en el bouquet, les será más fácil encontrarse. De esta forma los telómeros de los cromosomas homólogos empiezan a unirse por los elementos axiales, y desde allí y hacia el centro del cromosoma como si fuera una cremallera se va produciendo la sinapsis.



Para estabilizar esta unión se va desarrollando una estructura exclusiva de la meiosis y que es el complejo sinaptonémico. Esta estructura proteica está formada por los dos elementos axiales de los homólogos (que ahora denominamos elementos laterales y una serie de fibras transversales denominadas elemento central).



Cuando el proceso de apareamiento se completa y extiende a todo el complemento cromosómico entramos en la fase de paquítena. En esta fase tenemos los cromosomas homólogos íntimamente apareados y formando una estructura que denominamos bivalente y también algunos autores la denominan tétrada en alusión a estar formada por las 4 cromátidas. Nosotros utilizaremos el término bivalente y dejaremos el término tétrada para designar la telofase II de la meiosis vegetal.



En las regiones cromosómicas apareadas empieza a observarse unas estructuras esféricas que son los nódulos de recombinación y donde se encuentra toda la maquinaria enzimática responsable del sobrecruzamiento.

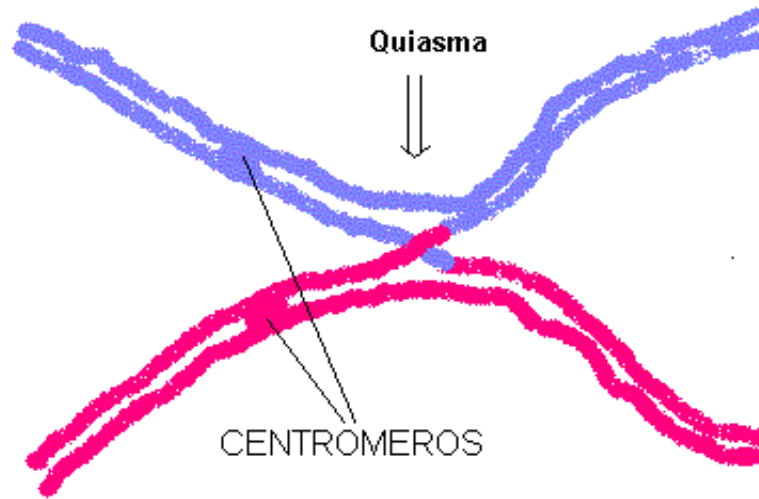
↑ Inicio

SOBRECruzAMIENTO

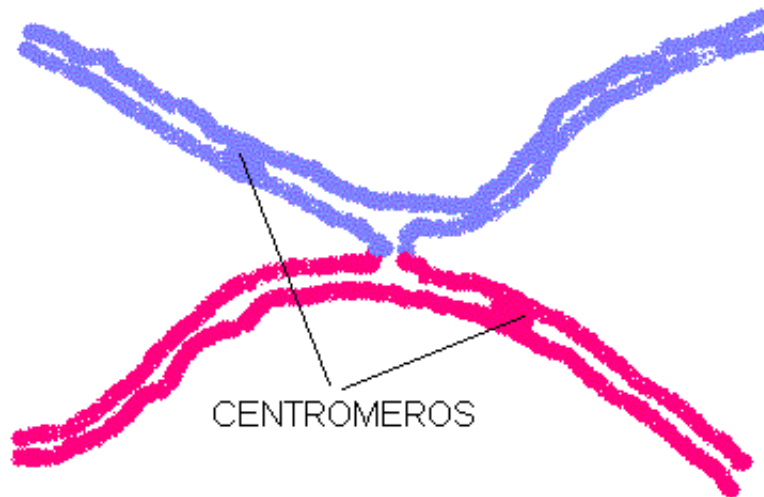
El sobrecruzamiento es el proceso mediante el cual los cromosomas homólogos intercambian segmentos cromosómicos y por tanto material hereditario. El sobrecruzamiento ocurre en varias fases e implica la síntesis y reparación de ADN. Para que el sobrecruzamiento sea correcto ha de ocurrir que se rompan las cadenas de ADN por las mismas bases en cromátidas de cromosomas homólogos y que la posterior unión se haga de cada segmento con su cromatidio homólogo y no con el que pertenecía antes de la rotura. Al final de paquitena el sobrecruzamiento ya está resuelto, es decir ya se ha producido el intercambio de los segmentos cromosómicos.

A lo largo de toda la Profase I la cromatina se van condensando progresivamente y al microscopio óptico se va observando como esa madeja de cromatina se va diferenciando e individualizando en unas estructuras que son los bivalentes. Al final de paquitena los bivalentes ya están casi individualizados totalmente y son perfectamente visibles y diferenciables al microscopio óptico.

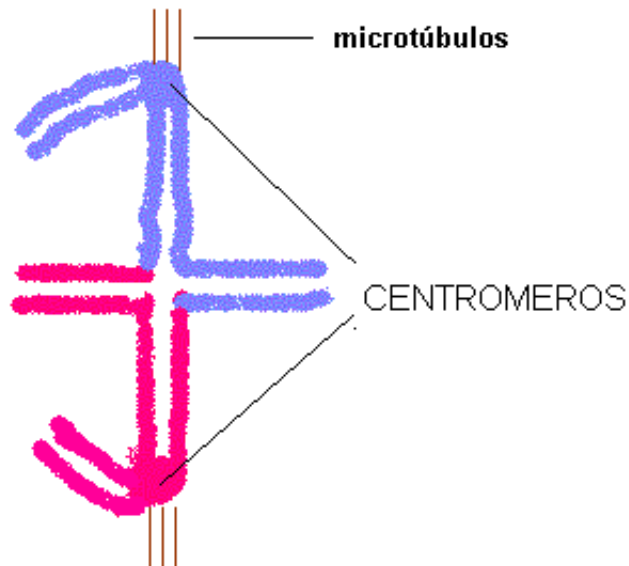
En diplotena los bivalentes son perfectamente distinguibles y además observamos una disposición espacial de los mismos de tal forma que son visibles los lugares donde han ocurrido los sobrecruzamientos. El quiasma es la expresión citológica del sobrecruzamiento y al microscopio óptico se observa en los bivalentes diploténicos como una cromátida pasa por encima de la otra (crossing-over).



Si giramos 180° la parte inferior del dibujo tendríamos:



Según se va condensando la cromatina y visto desde otro ángulo, también podríamos observar la siguiente figura que es la más frecuente en fases más avanzadas como diacinesis o metafase I



Obsérvese como siempre a cada lado del quiasma las cromátidas que están juntas son del mismo color, es decir son cromátidas hermanas, aunque ahora pueden estar unidas a distintos centrómeros. También es importante decir que en el bivalente ambos cromosomas tienen su ADN totalmente separado incluso podríamos decir que cada cromosoma es independiente y no hay nada que lo una a su homólogo. En diplotena el complejo sinaptonémico desaparece, entonces ¿por qué se mantienen juntos los cromosomas? Existen unas proteínas de cohesividad encargadas de mantener las cromátidas hermanas juntas. Fijémonos en las dos ramas horizontales del diagrama anterior, las dos cromátidas azules (o rojas) estarán unidas entre sí por esas proteínas, pero observemos que cada una de ellas está unida a un centrómero distinto, por lo tanto ambos cromosomas permanecerán juntos mientras permanezcan esas proteínas.

Al igual que en la profase de mitosis durante la profase I la cromatina se condensa, y desaparecen el nucleolo y la membrana nuclear.

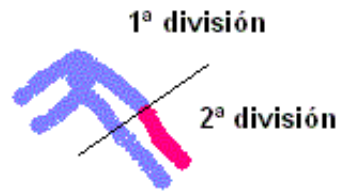
Durante la diacinesis los bivalentes se siguen condensando y progresivamente se van disponiendo espacialmente para que al entrar en metafase I todos los bivalentes se dispongan en la placa ecuatorial y se produzca la coorientación centromérica y la posterior separación de los cromosomas.



COORIENTACIÓN

En la metafase I los bivalentes se sitúan en la placa ecuatorial y los centrómeros de cada cromosoma homólogo está dirigido o coorientado hacia un polo distinto de la célula. A diferencia de la mitosis en la metafase I los centrómeros de cada uno de los cromosomas (es decir los dos centrómeros de los cromatidios hermanos) están orientados hacia el mismo polo. La orientación de los cromosomas dentro del bivalente es al azar y no depende de si es paterno o materno ni de como orienten los demás bivalentes, por ello en metafase I decimos que se produce el principio mendeliano de la combinación independiente ya que a cada polo van a ir cromosomas de origen materno o paterno al azar.

Cuando los bivalentes están dispuestos en la placa ecuatorial desaparecen las proteínas que mantenían juntas las cromátidas y mediante la unión de los centrómeros con los microtúbulos los cromosomas que formaban el bivalente empiezan a separarse y a migrar a polos opuestos en la Anafase I. El principio mendeliano de la segregación tiene lugar durante la anafase I siempre que no haya habido un sobrecruzamiento entre un locus y su centrómero, ya que si por ejemplo tenemos un individuo A,a, el alelo A irá a polo distinto del alelo a. Si se ha producido sobrecruzamiento a cada polo ira A y a, cada alelo en un cromatidio distinto, y la segregación se producirá en la anafase II cuando se separen esos cromatidios. En resumen podríamos decir que cuando se produce un sobrecruzamiento, los genes comprendidos entre el centrómero y el punto de sobrecruzamiento segregan en la primera división meiótica, y los comprendidos entre el punto de sobrecruzamiento y el telómero en la segunda.



Como consecuencia de este proceso obtendremos en Telofase I dos células con la mitad de cromosomas cada una de ellas.

Después de la primera división hay una interfase sin síntesis de ADN y se entra en la segunda división meiótica que básicamente es una mitosis normal, pero con la mitad de los cromosomas.

↑ Inicio

