

Capítulo 11. Meiosis y reproducción sexual

La reproducción sexual requiere, en general, de dos progenitores y siempre involucra dos hechos: la fecundación y la meiosis. La fecundación es el medio por el cual las dotaciones genéticas de ambos progenitores se reúnen y forman una nueva identidad genética, la de la progenie. La meiosis es un tipo especial de división nuclear en el que se redistribuyen los cromosomas y se producen células que tienen un número haploide de cromosomas (n). La fecundación restablece el número diploide ($2n$). En organismos con reproducción sexual, la haploidía y la diploidía se suceden a lo largo de los ciclos de vida.

Cada una de las células haploides producidas por meiosis contiene un complejo único de cromosomas, debido al entrecruzamiento y a la segregación al azar de los cromosomas. De esta manera, la meiosis es una fuente de variabilidad en la descendencia.

Los acontecimientos que tienen lugar durante la meiosis se asemejan a los de la mitosis, proceso de reproducción en el cual el material genético -el DNA- se reparte en partes iguales entre dos nuevas células hijas. Existen importantes diferencias entre los procesos de mitosis y meiosis. Durante la meiosis, cada núcleo diploide se divide dos veces, produciendo un total de cuatro núcleos. Sin embargo, los cromosomas se duplican sólo una vez, antes de la primera división nuclear. Por lo tanto, cada uno de los cuatro núcleos producidos contiene la mitad del número de cromosomas presentes en el núcleo original. A diferencia de lo que ocurre en la meiosis, en la mitosis, luego de la duplicación de los cromosomas, cada núcleo se divide sólo una vez. En consecuencia, el número de cromosomas se mantiene invariable.

Debido al fenómeno del entrecruzamiento y al de segregación al azar de los cromosomas, durante la meiosis se recombina el material genético de los progenitores, lo que no ocurre en la mitosis.

La mitosis puede ocurrir en células haploides o diploides, mientras que la meiosis ocurre solamente en células con un número diploide (o poliploide) de cromosomas.

La meiosis ocurre en diferentes momentos del ciclo vital, según en que especie se produzca. Aunque la meiosis en los animales produce gametos, en las plantas produce esporas. Una espora es una célula reproductora haploide que, a diferencia de un gameto, puede producir un organismo haploide sin haberse fusionado previamente con otra célula. Sin embargo, con la formación de gametos y esporas por meiosis, se obtiene el mismo resultado: en algún momento del ciclo vital de un organismo que se reproduce sexualmente, se reduce la dotación diploide de cromosomas a la dotación haploide.

Las fases de la meiosis

La meiosis, un tipo especial de división nuclear. Consiste en dos divisiones nucleares sucesivas, designadas convencionalmente meiosis I y meiosis II. Durante este proceso de división se redistribuyen los cromosomas y se producen células que tienen un número haploide de cromosomas (n).

Durante la interfase que precede a la meiosis, los cromosomas se duplican. En la profase I de la meiosis, los cromosomas homólogos se aparean.

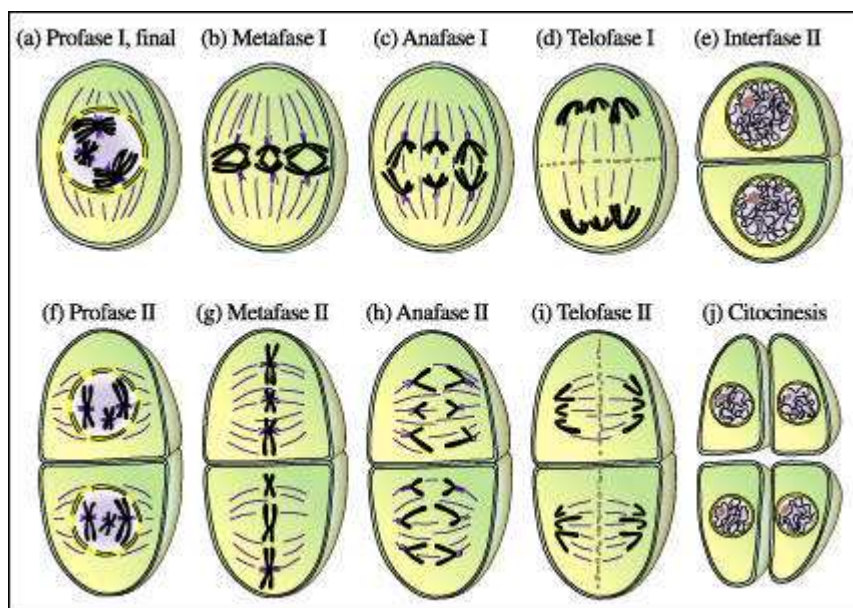
Un homólogo de cada par proviene de un progenitor, y el otro homólogo, del otro progenitor. Cada homólogo consta de dos cromátides hermanas idénticas, que se mantienen unidas por el centrómero. Mientras los homólogos están apareados, ocurre entre ellos el entrecruzamiento, dando como resultado el intercambio de material cromosómico.

Al finalizar la meiosis I, los cromosomas homólogos se separan. Se producen dos núcleos, cada uno con un número haploide de cromosomas. Cada cromosoma, a su vez, está formado por dos cromátides. Los núcleos pueden pasar por un período de interfase, pero el material cromosómico no se duplica.

En la segunda etapa de la meiosis, la meiosis II, las cromátides hermanas de cada cromosoma se separan, como si fuese una mitosis. Cuando los dos núcleos se dividen, se forman cuatro células haploides.

Durante la profase I de la meiosis, los cromosomas homólogos se disponen de a pares -se aparean-. Cada par homólogo está formado por cuatro cromátides por lo que también se conoce como tétrada (del griego, tetra que significa "cuatro"). Entre las cromátides de los dos cromosomas homólogos se produce el entrecruzamiento, es decir, el intercambio de segmentos cromosómicos. Los cromosomas homólogos permanecen asociados en los puntos de entrecruzamiento -o quiasmas- hasta el final de

la profase I. c) Luego, los cromosomas comienzan a separarse. Como se puede ver, las cromátidas hermanas de cada homólogo ya no son completamente idénticas; el entrecruzamiento da como resultado una recombinación del material genético de los dos homólogos.



Representación de las fases de la meiosis en una célula vegetal cuyo número diploide es $2n = 6$ ($n = 3$).

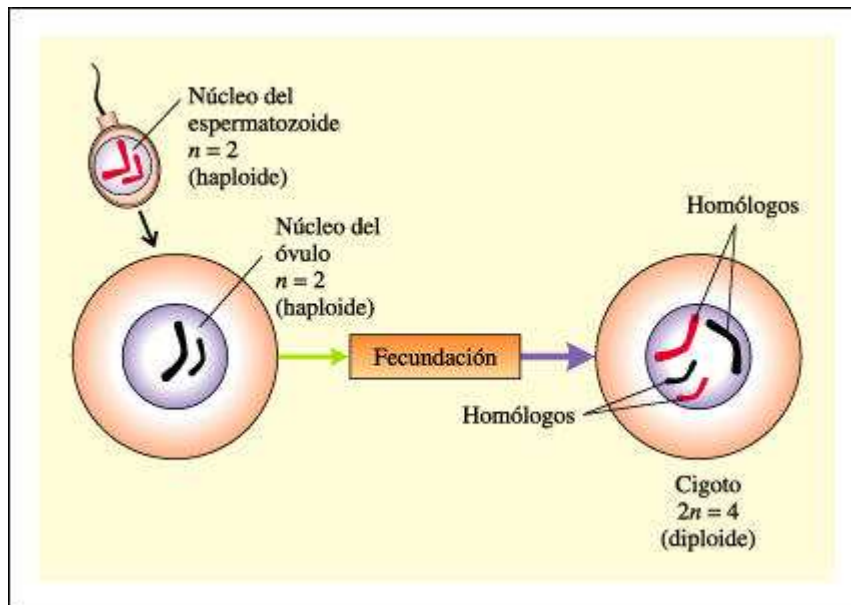
Haploidía y diploidía

Cada organismo tiene un número de cromosomas característico de su especie. Sin embargo, en estos los organismos y en la mayoría de las otras plantas y animales conocidos, las células sexuales, o gametos, tienen exactamente la mitad del número de cromosomas que las células somáticas del organismo. El número de cromosomas de los gametos se conoce como número haploide, y en las células somáticas, como número diploide. Las células que tienen más de dos dotaciones cromosómicas se denominan poliploides.

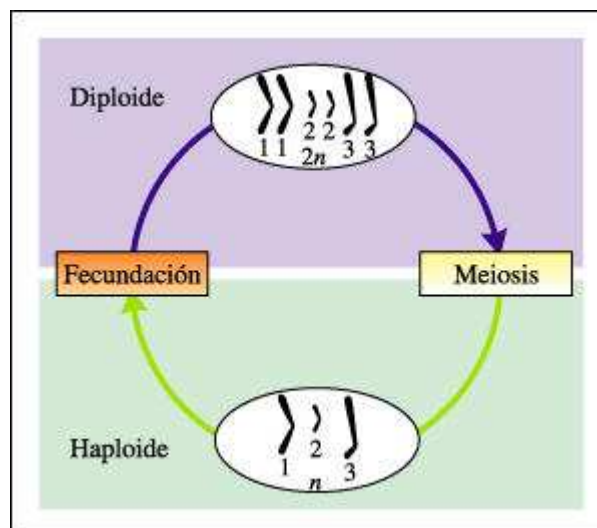
Utilizando una notación abreviada, el número haploide se designa como n y el número diploide como $2n$. Cuando un espermatozoide fecunda a un óvulo, los dos núcleos haploides se fusionan, $n + n = 2n$, y el número diploide se restablece. La célula diploide producida por la fusión de dos gametos se conoce como cigoto.

En toda célula diploide, cada cromosoma tiene su pareja. Estos pares de cromosomas se conocen como pares homólogos. Los dos se asemejan en tamaño y forma y también en el tipo de información hereditaria que contienen. Uno de los cromosomas homólogos proviene del gameto de uno de los progenitores y su pareja, del gameto del otro progenitor. Después de la fecundación, ambos homólogos se encuentran presentes en el cigoto.

En la meiosis, la dotación cromosómica diploide, que contiene los dos homólogos de cada par, se reduce a una dotación haploide, que contiene solamente un homólogo de cada par. Así, la meiosis compensa los efectos de la fecundación.



La reproducción sexual se caracteriza por dos hechos: la fecundación y la meiosis. Una vez finalizada la meiosis, las células resultantes tienen una sola dotación cromosómica, el número haploide de cromosomas (n). Después de la fecundación, el cigoto tiene una dotación cromosómica doble, o sea, el número diploide ($2n$).

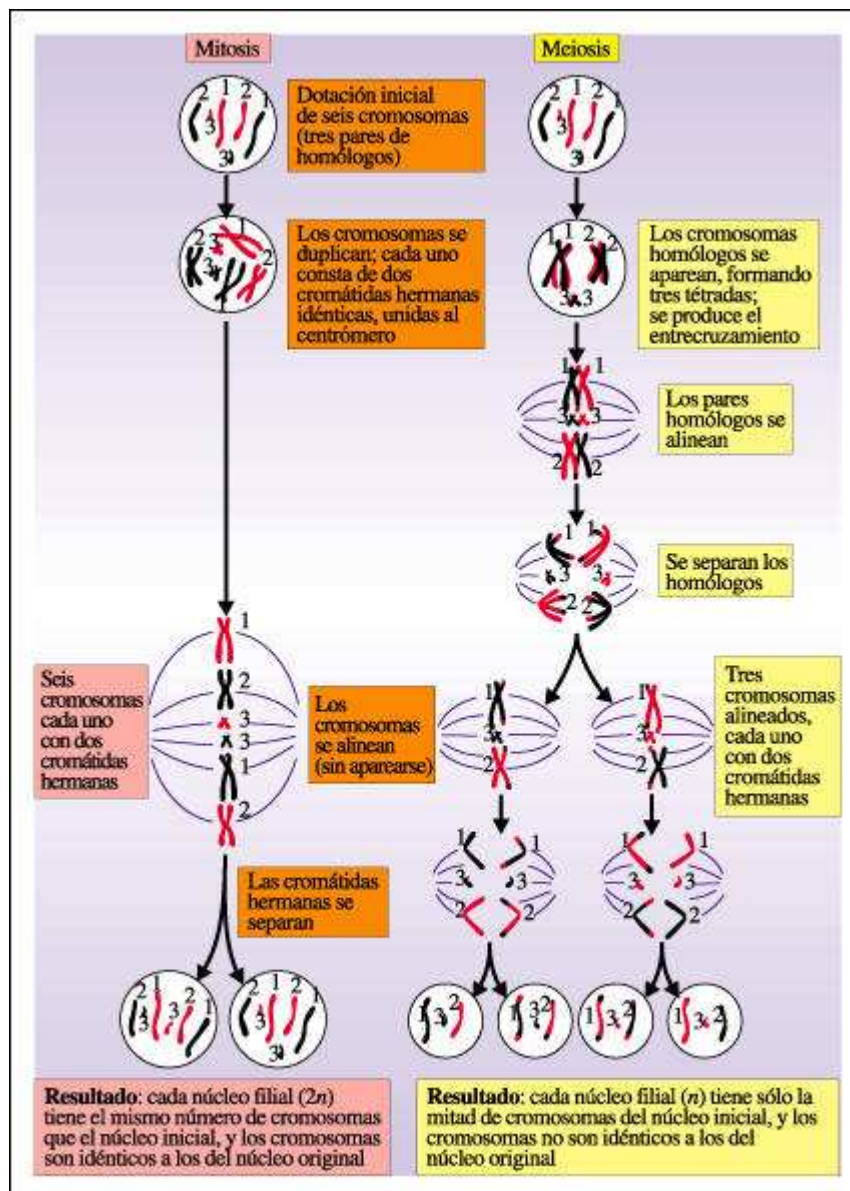


Esquema de los cambios en el número de cromátides en los cromosomas a lo largo del ciclo de vida.

Durante la meiosis, los miembros de cada par de cromosomas homólogos se separan y cada gameto haploide (n), producido por una célula diploide ($2n$), lleva sólo un miembro de cada par de homólogos. En la fecundación, los núcleos del espermatozoide y del óvulo se unen en el cigoto, cuyo núcleo contiene, nuevamente, los cromosomas homólogos de a pares. Cada par está formado por un cromosoma homólogo proveniente de un progenitor y un homólogo proveniente del otro progenitor. Aquí se usan los colores rojo y negro para indicar los cromosomas paternos y maternos de cada par homólogo, respectivamente.

Diferencias entre mitosis y meiosis

Los acontecimientos que tienen lugar durante la meiosis se asemejan a los de la mitosis, pero una comparación de los dos procesos muestra un buen número de diferencias importantes



Comparación de la mitosis y la meiosis. En estos ejemplos, cada célula diploide tiene seis cromosomas ($2n = 6$). Las características comunes a ambos procesos están escritas sobre fondo naranja; las características de la mitosis en rosa y las propias de la meiosis en amarillo.

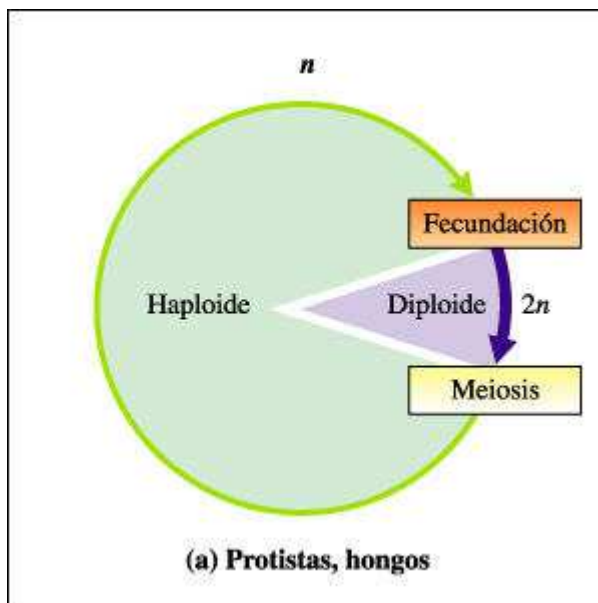
La meiosis ocurre en distintos tipos de ciclos vitales

La meiosis, según en qué especie se produzca, ocurre en diferentes momentos del ciclo vital. En muchos protistas y hongos, tales como el alga *Chlamydomonas* y el moho *Neurospora*, ocurre inmediatamente después de la fusión de las células fecundantes. Las células, habitualmente son haploides, y la meiosis restablece el número haploide después de la fecundación.

En las plantas, la fase haploide típicamente alterna con una fase diploide. En los helechos, por ejemplo, la forma más común y conspicua es el individuo diploide, el esporofito. Los esporofitos de los helechos producen esporas por meiosis, que habitualmente se encuentran en la parte inferior de sus frondes (hojas). Estas esporas, que tienen el número haploide de cromosomas, germinan y forman plantas mucho más pequeñas, los gametofitos, que típicamente consisten sólo en unas pocas capas de células, todas ellas haploides. Los pequeños gametofitos haploides producen gametos por mitosis; los gametos se fusionan y luego desarrollan un nuevo esporofito diploide. Este proceso, en el cual una fase haploide es seguida por una fase diploide y nuevamente por otra haploide, se conoce como alternancia de generaciones. La alternancia de generaciones ocurre en todas las plantas que se reproducen sexualmente, aunque no siempre en la misma forma.

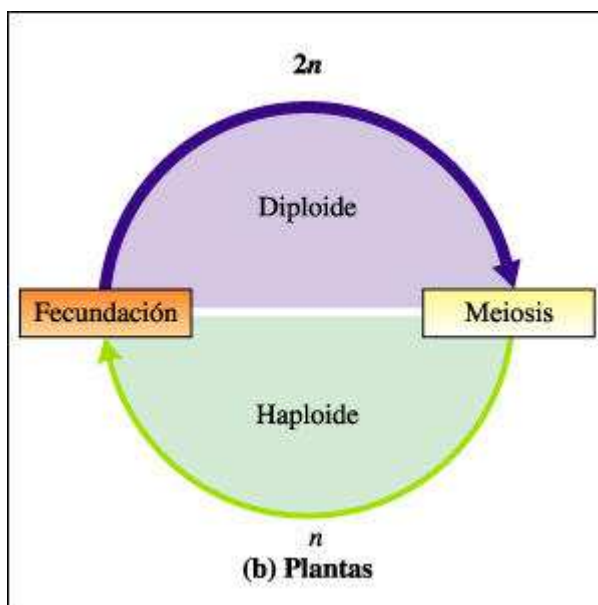
Los seres humanos tienen el ciclo biológico típico de los animales en el cual los individuos diploides producen gametos haploides por meiosis, inmediatamente antes de la fecundación. La fecundación de los gametos masculino y femenino restablece el número diploide de cromosomas. Prácticamente,

todo el ciclo vital transcurre en el estado diploide.



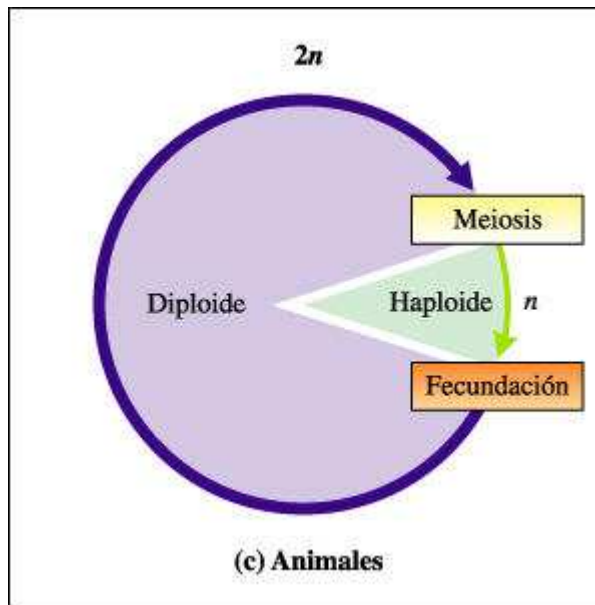
La fecundación y la meiosis pueden ocurrir en diferentes momentos del ciclo vital según el tipo de organismo del que se trate. Ciclo de vida de protistas y hongos.

a) En muchos protistas y hongos, aunque no en todos, la meiosis ocurre inmediatamente después de la fecundación. La mayor parte del ciclo vital transcurre en el estado haploide (indicado con una línea verde).



Ciclo de vida de las plantas.

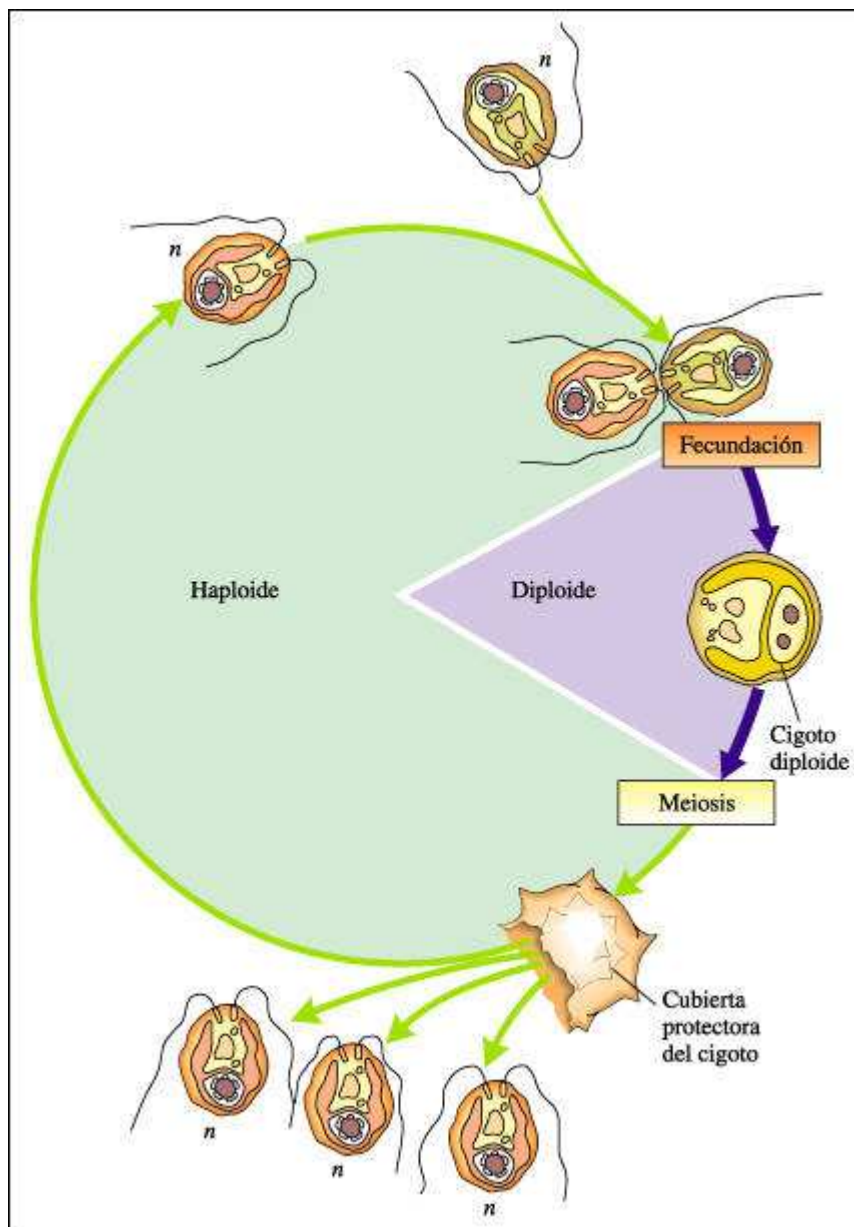
b) En las plantas, la fecundación y la meiosis están separadas en el tiempo. El ciclo vital del organismo incluye una fase diploide (representada por la línea azul) y una fase haploide (verde).



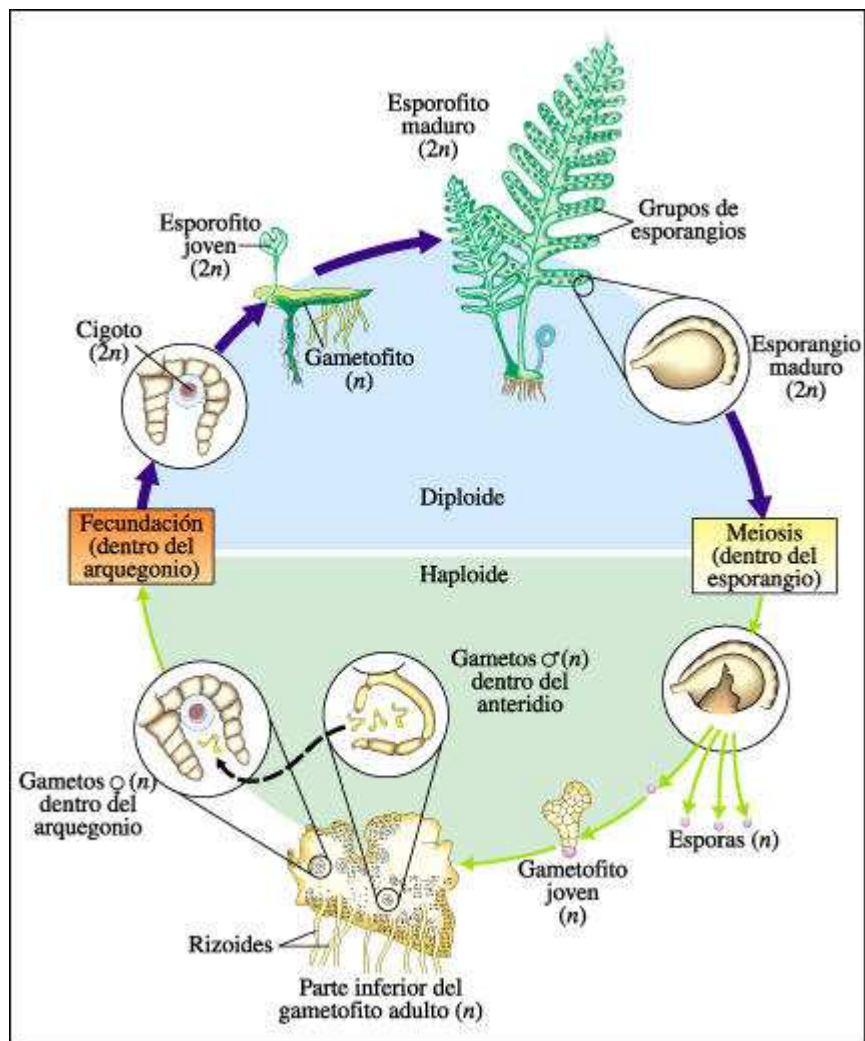
Ciclo de vida de los animales.

c) En los animales, la meiosis es inmediatamente seguida por la fecundación. En consecuencia, durante la mayor parte del ciclo vital el organismo es diploide.

El organismo, en este caso *Chlamydomonas*, es haploide durante la mayor parte de su vida. La fecundación se produce por la unión de dos células fecundantes de cepas diferentes y da origen a un cigoto diploide. El cigoto produce una cubierta gruesa que le permite permanecer latente durante condiciones rigurosas. Después de este período de latencia, el cigoto se divide por meiosis, formando cuatro células haploides. Cada célula haploide puede reproducirse asexualmente (por mitosis) para formar más células haploides o, en condiciones ambientales adversas, las células haploides de una línea fecundante particular pueden fusionarse con células de un tipo opuesto, iniciándose así otro ciclo sexual.

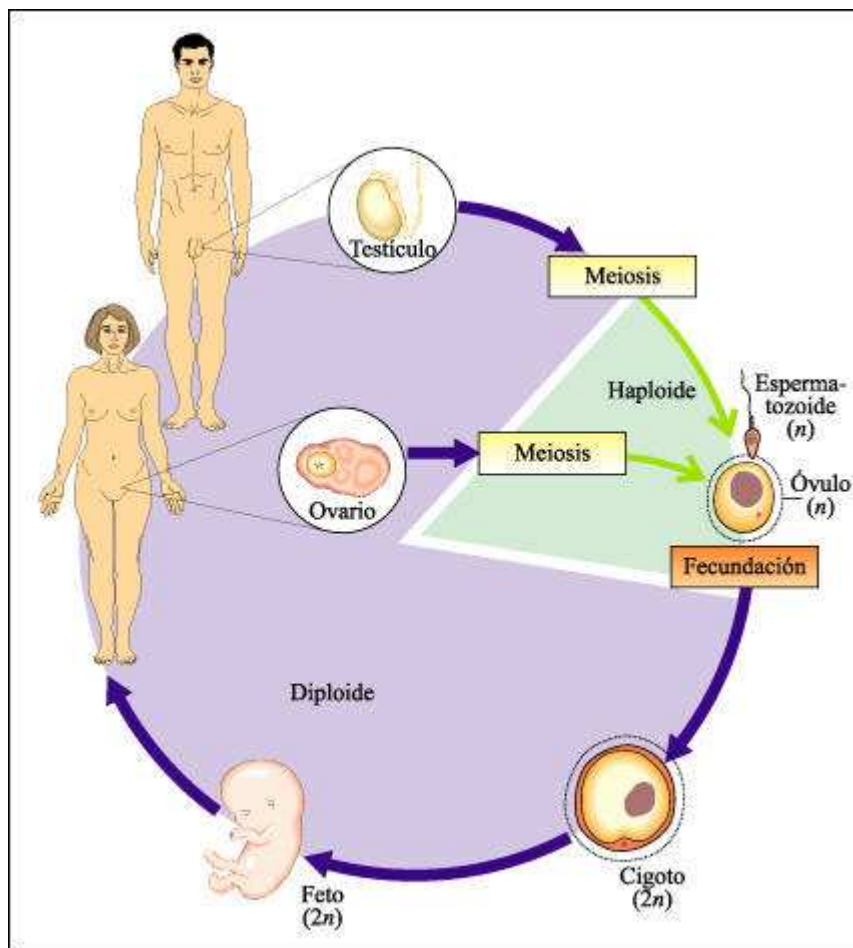


Ciclo de vida de Chlamydomonas.



El ciclo vital de un helecho.

En los esporangios (a la derecha), se producen, por meiosis, las esporas haploides, que luego son liberadas. De las esporas se desarrollan gametofitos haploides. En muchas especies, los gametofitos tienen sólo unas pocas capas de células y adoptan una forma similar a un corazón, como se muestra aquí (parte inferior). De la superficie inferior del gametofito aparecen filamentos, los rizoides, que penetran en el suelo. En la superficie inferior del gametofito hay arquegonios, estructuras con forma de botella, que contienen los gametos femeninos y los anteridios, que contienen a los gametos masculinos. Cuando los gametos masculinos maduran y hay un aporte adecuado de agua, los anteridios se rompen y los gametos masculinos, que tienen numerosos flagelos, nadan hasta los arquegonios y fecundan a los gametos femeninos. Del cigoto se desarrolla el esporofito diploide (2n), que crece del arquegonio, contenido en el gametofito. Después que el joven esporofito se arraigó en el suelo, el gametofito se desintegra. El esporofito madura, desarrolla esporangios, en los cuales ocurre la meiosis y así comienza nuevamente el ciclo.



El ciclo vital de Homo sapiens.

Los gametos (óvulos y espermatozoides) son producidos por meiosis. En la fecundación, los gametos haploides se fusionan, restableciéndose, en el cigoto, el número diploide. El cigoto dará lugar a un hombre o a una mujer que, cuando maduren, nuevamente producirán gametos haploides. Como en el caso de la mayoría del resto de los animales, las células son diploides durante casi todo el ciclo de vida; la única excepción son los gametos.

En la especie humana, a partir de cada espermatocito primario diploide se forman, en el hombre, cuatro espermátidas haploides, que se diferencian en cuatro espermatozoides. En la mujer, en cambio, a partir de cada ovocito primario diploide, el citoplasma se divide desigualmente y se produce un solo óvulo haploide; los núcleos haploides restantes forman los cuerpos o corpúsculos polares que se desintegran.



El cuarto Blanco - Biblioteca Web