

# La reproducción. Genética del sexo. Gametogénesis y ciclos biológicos. Fecundación y desarrollo embrionario en Metazoos

**Autor:** Alvarez Martinez, Oscar (Licenciado en Biología, Cap d'Estudis Ins Sant Pere i Sant Pau (Tarragona)).

**Público:** Docentes y alumnos de biología de Bachillerato. **Materia:** Biología. **Idioma:** Español.

**Título:** La reproducción. Genética del sexo. Gametogénesis y ciclos biológicos. Fecundación y desarrollo embrionario en Metazoos.

## Resumen

Para la perpetuación de la vida se necesita de la reproducción, que se explica en el siguiente artículo, al igual que el proceso que genera las células sexuales y los ciclos biológicos basándonos en el momento de la meiosis en la que tiene lugar. En relación estrecha con la reproducción está el concepto de sexo, el cual se explica y se conecta con la determinación del mismo y la herencia de caracteres en relación al sexo. Finalmente se trata la unión de los gametos y el desarrollo embrionario de animales, proceso tan complejo como fascinante.

**Palabras clave:** Reproducción asexual, reproducción sexual, gametos, células haploides, anfigonia, partenogénesis, segmento homólogo, segmento diferencial, carácter holándrico y ginándrico, hemizigosis, heterocromosomas, gametogénesis, espermatogénesis, ovogénesis, o.

**Title:** The reproduction. Genetics of sex. Gametogenesis and biological cycles. Fertilization and embryo development in metazoans.

## Abstract

For the perpetuation of life needed reproduction, which is explained in the following article, as the process that generates sexual and cell biological cycles based on the time of meiosis in which it takes place. In close connection with reproduction is the concept of sex, which is explained and connected with the determination of the character and heritage in relation to sex. Finally the union of gametes and embryonic development of animals, as complex as it is fascinating process is explained.

**Keywords:** Asexual reproduction, sexual reproduction, gametes, haploid cells, anfigonia, parthenogenesis, homologous segment, differential segment, holandric and ginandric character, hemizygotis, heterocromosomas, gamete, spermatogenesis, oogenesis, organogenes.

Recibido 2016-05-25; Aceptado 2016-05-26; Publicado 2016-06-25; Código PD: 072052

## 1. LA REPRODUCCIÓN ASEJUAL Y LA REPRODUCCIÓN SEXUAL

La reproducción es el fenómeno mediante el cual los seres vivos producen células o grupos de células, a expensas de su propio organismo, que al separarse de este, se convierten, directa o indirectamente, en nuevos individuos. Existen dos modalidades principales, la asexual y la sexual. En la reproducción asexual solo interviene un individuo. La descendencia son copias genéticamente idénticas del progenitor y el mecanismo que asegura la continuidad genética es la mitosis. En la reproducción sexual son dos progenitores los que participan en la producción de individuos hijos, cuyas características resultarán de la combinación del ADN de dichos progenitores y, por tanto, genéticamente serán distintos. El mecanismo que permite que se produzca este proceso es la meiosis.

En los organismos unicelulares, la reproducción asexual puede llevarse a cabo por bipartición, por gemación o por división múltiple. La bipartición consiste en que la célula madre, tras la mitosis divide su citoplasma, dando lugar a dos células hijas de igual tamaño. Se da en muchos protistas como las amebas. La gemación se produce cuando en la célula madre se forma una yema, que se separará de ésta por estrangulación y tras ser ocupada por un núcleo hijo, producto de la mitosis. Da lugar a dos células hijas de diferente tamaño, y es típica de levaduras. La división múltiple se produce cuando la célula madre divide varias veces el núcleo por mitosis sin que se produzca al mismo tiempo la división del citoplasma. A continuación cada núcleo se rodea de una porción de citoplasma y de una membrana. Cuando se rompe la membrana de la célula madre, se liberan. Es típica de esporozoos como plasmodium.

La reproducción asexual en organismos pluricelulares, se distingue entre los animales y los vegetales. En animales las dos modalidades básicas son la gemación y escisión. La gemación consiste en el mismo proceso que en unicelulares

aunque la yema formada es una porción del organismo. Es frecuente en pólipos y esponjas. En la escisión el individuo se divide en dos o más trozos, cada uno de los cuales es capaz de reconstruir el animal completo. Este tipo se produce en anélidos poliquetos, en la lombriz de tierra... Un tipo especial de escisión es la poliembrionía, fenómeno que consiste en que el embrión, durante las primeras fases de su desarrollo, se divide en varias porciones, cada una de las cuales originará un individuo completo. Se da en insectos y en algunos mamíferos. En cuanto a los vegetales, destacar la reproducción mediante esporulación, fragmentación y por propágulos. La esporulación consiste en la formación de esporas por mitosis y son típicas de algas, aunque también están presentes en hongos y algunos protoctistas. Actúan como agente de dispersión y es una medida para superar condiciones desfavorables.

La fragmentación consiste en que una porción de la planta se separa y da lugar a un nuevo individuo. Este tipo se presenta en algas, líquenes, musgos... Por último, los propágulos son fragmentos de una planta formados por órganos enteros o complejos de órganos, y pueden ser estolones, rizomas, tubérculos, bulbos, brotes adventicios y yemas radicales. También existe la multiplicación vegetativa artificial, como los esquejes, injertos, acodos, etc.

En cuanto a la reproducción sexual, por sexualidad se entiende la capacidad de los seres vivos de intercambiar material genético, produciendo variabilidad genética. Esta capacidad la presentan la mayoría de los seres pluricelulares y algunos unicelulares, principalmente protozoos y algas unicelulares, puesto que la reproducción sexual constituye el procedimiento más habitual de reproducción. Este tipo de reproducción se lleva a cabo con la intervención de gametos (células especializadas haploides) que se forman en los órganos sexuales de organismos pluricelulares, los gametangios en las plantas y las gónadas en los animales, o es el mismo organismo más o menos modificado en seres unicelulares. Cuando se fusionan los gametos, anterozoides y oosferas en plantas, protoctistas y hongos, y espermatozoides y óvulos en animales, dan lugar a un cigoto, de cuyo desarrollo nacerá un individuo.

Aquello que caracteriza el sexo en los organismos es el tipo de gameto producido, pudiendo ser sexo masculino o femenino. A los organismos con sexos separados se les llama unisexuales o dioicos según se trate de animales o plantas, y cuando un mismo individuo tiene dos aparatos sexuales o un aparato mixto capaz de producir gametos masculinos y femeninos se le llama hermafrodita o monoico, que es el caso de la mayoría de las plantas con flores y de algunos animales, como por ejemplo los caracoles.

En cuanto a las modalidades de la reproducción sexual, se diferencia entre la anfigonia y la partenogénesis. La anfigonia es la intervención, en la fecundación, de dos gametos de sexos opuestos, que según sea la morfofisiología de los gametos se distingue entre la isogamia, cuando los gametos son idénticos, como por ejemplo en algunas algas; y la anisogamia cuando los gametos se diferencian tanto morfológica como fisiológicamente, que la presentan la mayoría de los seres pluricelulares. Un caso extremo de este tipo es la oogamia. En cuanto a la partenogénesis, decir que consiste en el desarrollo, normalmente, de un óvulo no fecundado hasta convertirse en un individuo adulto. Se presenta en algunos insectos y crustáceos inferiores.

Muchos organismos pluricelulares presentan alternancia de una reproducción sexual y una asexual (metagénesis), que es típica de algunos celentéreos (medusa aurelia).

## 2. GENÉTICA DEL SEXO

Se habla de seres con sexo cuando los individuos son capaces de originar células sexuales (gametos). Los individuos que originan gametos móviles (espermatozoides y anterozoides) se denominan machos y los que generan gametos sésiles (óvulos y oosferas) se denominan hembras. El mecanismo más usual de determinación del sexo en los organismos diploides es mediante una pareja de cromosomas denominados cromosomas sexuales o heterocromosomas. Según se trate de una hembra o un macho son de distinto tipo o si son del mismo se encuentran en número diferente. Se distinguen entre el sistema XX/XY, típica de mamíferos, equinodermos, moluscos... en el que las hembras son el sexo homogamético XX y los machos el heterogamético XY; el sistema XX/X0, determinación propia de algunos insectos caracterizados porque uno de los dos sexos solo tiene un cromosoma sexual; y el sistema ZZ/ZW propia de las aves, algunos anfibios y reptiles, donde las hembras son el sexo heterogamético y los machos son el homogamético.

Existen otras determinaciones del sexo no debidas a la pareja de heterocromosomas, como es el sexo debido a la haplodiploidía en las abejas donde las hembras son diploides y los machos haploides; el sexo debido al equilibrio génico entre cromosomas X y autosomas en *Drosophila melanogaster*; o el sexo debido a influencias del ambiente como en algunos gusanos marinos.

Los caracteres ligados al sexo son aquellos que están determinados por genes localizados en los cromosomas sexuales, y por tanto sólo aparecen en uno de los dos sexos o, si aparecen en los dos, en uno de ellos son mucho más frecuentes. En los cromosomas X e Y se distinguen un segmento homólogo y otro diferencial. Los caracteres definidos por el segmento diferencial de X se llaman ginándricos y los que dependen del segmento diferencial del Y, holándricos. Todos los caracteres holándricos serán heredados por los hijos varones, como la presencia de pelos en las orejas o una enfermedad de la piel, y debido a la hemicigosis tanto los genes de los caracteres ginándricos, como los de los holándricos se manifestarán siempre. En cambio, en las mujeres, los alelos recesivos sólo se pueden manifestar si se encuentran en los dos cromosomas X, como ocurre con el daltonismo o la hemofilia.

Existen otros caracteres determinados por genes autosómicos o por genes de los segmentos homólogos de los heterocromosomas que, para manifestarse, dependen del sexo del individuo, como la calvicie en la especie humana o la presencia/ausencia de cuernos en algunas razas ovinas.

### 3. GAMETOGENESIS

La gametogénesis es el conjunto de procesos que conducen a la formación de los gametos. Se distinguen dos modalidades, según se trate de la formación de los gametos masculinos o de los femeninos: la espermatogénesis y la ovogénesis.

La espermatogénesis se puede esquematizar en las siguientes cuatro fases: fase de proliferación, de crecimiento, de maduración y de diferenciación. La fase de proliferación consiste en que a partir de las células germinales se originan, mediante procesos mitóticos, varias espermatogonias; en la fase de crecimiento, las espermatogonias sufren un ligero crecimiento y se convierten en espermatoцитos de primer orden que son diploides. En la fase de maduración, cada espermatoцитo de primer orden se divide en dos espermatoцитos de 2º orden, que son haploides ya que se produce una meiosis y como resultado final se obtiene cuatro espermátidas por 2ª división meiótica de los espermatoцитos de 2º orden. En la fase de diferenciación cada una de las cuatro espermátidas se transforma en un espermatozoide mediante una fase de diferenciación llamada espermiogénesis.

Respecto a la ovogénesis, comprende las siguientes fases de desarrollo: fase de proliferación, de crecimiento y de maduración. En la de proliferación las células germinales forman ovogonias mediante mitosis; la de crecimiento corresponde cuando la ovogonia de la última generación aumenta de tamaño y origina un ovocito de primer orden, que es diploide. Éste se rodea de ciertas células epiteliales (células foliculares) y forma el folículo ovárico. Finalmente, en la fase de maduración, el ovocito de primer orden sufre un proceso meiótico dando lugar a un óvulo y pudiendo formar 3 corpúsculos polares que degeneran.

### 4. FECUNDACIÓN Y DESARROLLO EMBRIONARIO EN METAZOOS

La fecundación es la unión del gameto masculino y el femenino para formar el cigoto, que dará origen al nuevo ser. Existen dos modalidades de fecundación, la externa y la interna. La fecundación externa es propia de organismos acuáticos (excepto los pulpos, algunos peces vivíparos y mamíferos marinos), de insectos y anfibios. Suele tener lugar en un medio acuoso, en donde el macho y la hembra liberan los espermatozoides y los óvulos en una determinada zona, en gran cantidad y simultáneamente o muy próximos en el tiempo, lo que facilita la probabilidad de unión. La fecundación interna es característica de animales terrestres como los reptiles, las aves y los mamíferos, y de algunos peces. Tiene lugar en el interior de las vías genitales de las hembras, una vez los machos han depositado los espermatozoides en ellas mediante el apareamiento y la eyaculación.

En la mujer, después de la cópula, los espermatozoides alcanzan la mucosa cervical que baña el cuello del útero. Ésta mucosa cumple diversas funciones, entre las que cabe destacar la eliminación de espermatozoides anómalos o inmóviles y eliminar el líquido seminal. Los espermatozoides que flanquean el cuello uterino penetran en la cavidad del útero y posteriormente remontan las trompas de Falopio. Las contracciones del útero y las vibraciones de las proyecciones pilosas de la trompa de Falopio favorecen su ascensión. Sobre la zona pelúcida de los óvulos hay receptores específicos que son complementarios de proteínas óvulo- adherentes presentes en la superficie de la cabeza del espermatozoide. Se produce el reconocimiento, de modo que el espermatozoide atraviesa las cubiertas del óvulo, con la ayuda de los enzimas del acrosoma que producen hidrólisis de las mismas, y se fusiona con la membrana del óvulo. Esta fusión desencadena la llamada reacción cortical, donde los gránulos vitelinos vierten su contenido por exocitosis a la zona pelúcida y modifican químicamente los receptores específicos. Este proceso forma la membrana de fecundación, que asegura la monospermia,

penetrando únicamente la cabeza y el cuello del espermatozoide. Los núcleos de los gametos sufren unas modificaciones estructurales convirtiéndose en pronúcleos, que se fusionan originando el conjunto de genes o genoma del futuro embrión con el número cromosómico característico de la especie. Una vez fecundado, el cigoto empieza a preparar su primera división.

Una vez formado, el cigoto inicia un proceso de desarrollo hasta que tiene lugar el nacimiento de un nuevo individuo. Este proceso denominado desarrollo embrionario, en los casos más complejos, consta de las siguientes etapas: la segmentación, la gastrulación, la formación del mesodermo, la organogénesis, y el crecimiento.

En la segmentación, el cigoto experimenta divisiones mitóticas, que origina nuevas células llamadas blastómeros. Los blastómeros forman una masa celular esferoidal compacta, llamada mórula. Posteriormente emigran las células centrales a la periferia formando una pared, el blastodermo, que delimita una cavidad interna llena de líquido, el blastocele. Se pasa así al estado de blástula. A partir de la blástula se produce la formación de las hojas embrionarias (ectodermo, endodermo y mesodermo). En la gastrulación por invaginación, una parte de la pared de la blástula se hunde hacia el interior de la pared opuesta, formando la gástrula, que pasa a tener dos paredes, una externa, el ectodermo, y otra interna, el endodermo y, aparece una nueva cavidad delimitada por el endodermo llamada arquéteron, que se transformará en el hueco del tubo digestivo del futuro animal. Dicha cavidad se comunica con el exterior por una abertura llamada blastóporo. El blastóporo constituirá la futura boca del organismo en metazoos protostomados como artrópodos y moluscos; en cambio, dará lugar al futuro ano en metazoos deuterostomados como los cordados. Sólo los Poríferos y los Cnidarios concluyen su proceso embrionario en fase de gástrula con dos hojas embrionarias, llamados por ello animales diblásticos. En los restantes metazoos, el desarrollo embrionario continúa con la formación de una tercera hoja embrionaria, el mesodermo, que se sitúa entre el ectodermo y el endodermo.

La formación del mesodermo puede realizarse por esquizocelia o por enterocelia. La esquizocelia se produce por migración de algunas células del endodermo hacia el blastocele y es propia de anélidos y artrópodos. La enterocelia supone la formación de dos invaginaciones en el endodermo y es propia de equinodermos y cordados. El mesodermo puede evolucionar en un parénquima compacto en algunos animales (platelmintos y nemertinos), llamados por ello acelomados; o abrirse en él una cavidad, el celoma, como en el resto de animales, denominándose celomados. En ellos, el celoma puede dar origen a cavidades muy amplias o a órganos precisos (genitales o excretores). En la organogénesis se forman los diferentes órganos de los animales, a partir de las tres hojas embrionarias. La diferenciación del ectodermo formará la epidermis con formaciones tegumentarias, las mucosas de la cavidad bucal y anal, el sistema nervioso, la retina, el cristalino y el oído interno. La diferenciación del endodermo formará el tubo digestivo y sus glándulas anejas, los pulmones, la vejiga urinaria, el oído medio y las trompas de Eustaquio. Por su parte, la diferenciación del mesodermo originará los tejidos conjuntivos, el aparato circulatorio, excretor, los órganos reproductores, el sistema muscular y el esqueleto. Cuando todos los sistemas del ser vivo ya están formados, comienza la fase de crecimiento. En ella, el organismo aumenta de tamaño debido a la multiplicación celular, al crecimiento celular o a ambos procesos.

## 5. CICLOS BIOLÓGICOS

En especies capaces de desarrollar procesos sexuales, según el momento del ciclo biológico en el que tenga lugar la meiosis se distinguen tres tipos de ciclos biológicos, haplontes, diplontes y diplohaplontes. En los haplontes, como en algunos hongos, la meiosis tiene lugar en la primera división del cigoto, con lo que se forma un organismo haploide y los gametos se forman por mitosis a partir de células haploides. En los diplontes, como en los animales, la meiosis tiene lugar durante la formación de los gametos que son las únicas células haploides. Al unirse los gametos se formará un cigoto diploide que por mitosis sucesivas dará lugar a un adulto diploide. Los diplohaplontes, como los vegetales superiores, el cigoto diploide da lugar a un organismo diploide llamado esporofito que produce esporas. La meiosis tiene lugar al formarse las esporas. Éstas dan lugar a un organismo haploide, llamado gametófito, el cual formará los gametos. Al unirse los gametos se formará el cigoto diploide.

## 6. CONCLUSIÓN Y ACTIVIDADES PRÁCTICAS

Se concluye que la perpetuación de la vida está asegurada gracias al fenómeno de la reproducción, en donde existen dos modalidades generales, la asexual y la sexual. En esta última intervienen una serie de procesos en la formación de los gametos, la gametogénesis, la cual está relacionada con la meiosis. La formación del nuevo organismo mediante este tipo de reproducción, generalmente, está relacionada con la fecundación y su desarrollo embrionario.

Se puede llevar a cabo un estudio sobre la fecundación y el desarrollo de equinodermos o anfibios en el laboratorio; observación de diferentes tipos de reproducción asexual en algunos organismos o de reproducción sexual en determinados organismos unicelulares. También se puede estudiar las fases de reproducción alternante en vegetales.

## Bibliografía

Las citas legales en las que me he basado para desarrollar el tema, fundamentalmente han sido:

- Ley orgánica, 2/2006, del 3 de Mayo, de educación.
- Decreto 50/2002, del 26 de Marzo, del Gobierno Valenciano, por el que se establece el currículo del Bachillerato en la Comunidad Valenciana.

Para acabar, el apoyo bibliográfico utilizado ha sido:

- AGUD Jose Luis y otros. (2004). *Fisiología humana*. Ed. Mc Graw Hill. Madrid.
- ALCAMÍ J., BASTERO J.J y otros. (2006). Ciencias de la Naturaleza y de la Salud. Biología 2 Bachillerato. Madrid. SM.
- BALIVREA S, ÁLVAREZ A, et. al. (2002). *Biología y Geología 3. Ciències de la Natura*. Madrid. Anaya.
- BALLESTEROS Vázquez, M., FERNÁNDEZ Torron Y. et. al. (2009). *Biología 2 batxillerat*. Barcelona. Projecte La casa del saber. Santillana.
- CRUSELLAS Serra A., CRUSELLAS Domingo A., CUBARSÍ Morera M.C. et. al. (2008). *Biología 1 batxillerat*. Barcelona. Grup promotor. Santillana.
- CURTIS Helena y SUE Barnes N, et. al. (2006) *Biología*. Argentina. Editorial Médica Panamericana.
- ESTELLER PÉREZ A., FERNÁNDEZ ESTEBAN M.A. et. al. (2010) *Biología-1*. Barcelona. Editorial Vicens Vives.
- FERNÁNDEZ Jesús y otros. (2003). *Biología humana. Introducción a las ciencias de la salud*. Ed. Tilde. Valencia.
- GARCIA GRORIO Mariano y otros (2003). *Biología y Geología*. Valencia. Ecir.
- GARCIA GRORIO Mariano, FURIÓ EGEA Josep y otros (2003). *Biología 2 Bachillerato*. Valencia. Ecir.
- INCIARTE Marta R., VILLA Salvador, MIGUEL Gregorio (2001). *Biología 2 Bachillerato*. Madrid. Mc Graw Hill.
- JIMENO Antonio y BALLESTEROS Manuel (2009). *Biología 2 Batxillerat*. Barcelona. Santillana. Projecte la casa del saber.
- MADRID RANGEL, Miguel Ángel; DÍAZ NAVARRO, Laura, DIÉGUEZ NANCLARES, Jesús (2009). *Biología 2 Bachillerato*. Madrid. Santillana, Proyecto La casa del Saber.
- PULIDO Carlos y otros (2002). *Biología y Geología*. Madrid. Anaya.
- PULIDO Carlos y RUBIO Nicolás (2003). *Biología 2 Bachillerato*. Madrid. Anaya.
- S, ÁLVAREZ A, et. al. (2002). *Biología y Geología 3. Ciències de la Natura*. Madrid. Anaya.
- SANZ ESTEBAN Miguel, SERRANO BARRERO Susana y TORRALBA REDONDO Begoña. (2003). *Biología 2 Bachillerat*. Madrid. Oxford Educación. Proyecto Exedra.