Unidad 5

Reproducción en animales

Objetivos:

Al finalizar la unidad, el alumno:

- Describirá los tipos de reproducción, con énfasis en la asexual.
- Describirá los métodos utilizados en la reproducción sexual.
- Describirá los procesos de la reproducción sexual, en particular la gemetogénesis.
- Explicará algunos ejemplos de la fecundación exitosa.
- Explicará los mecanismos de protección y cuidado del embrión.
- Identificará las generalidades del desarrollo de los embriones acuáticos.
- Identificará las generalidades del desarrollo de los embriones terrestres.

Introducción

Si los miembros individuales de cualquier especie no pudiesen generar nuevos individuos que sustituyesen a los que mueren, estarían condenados irremisiblemente a la extinción. De hecho, no es concebible un organismo incapaz de reproducirse.

Desde el mismo momento de definir la materia viva, resulta evidente que ciertas sustancias capaces de duplicarse están perpetuamente ligadas a la vida.

La característica más notable de los seres vivos, y se pudiera decir hasta extraordinaria, es la capacidad de reproducirse para perpetuar la especie.

No existe ningún ser vivo que carezca de **ácidos nucléicos**, moléculas que poseen la capacidad, única en la naturaleza, de autorreplicarse. Así pues, los primeros indicios acerca de la reproducción de los organismos debemos buscarlos al nivel de las biomoléculas.

¿Por qué la reproducción es tan importante?

Hasta ahora la ciencia tan sólo ha podido dar explicación al proceso de duplicación del ADN sin poder revelar el misterio de su causa y origen. Se ha logrado, sin embargo, detallar el proceso reproductor a nivel de organismos enteros, donde se manifiesta una variedad de forma que va desde la simple fisión de las bacterias y los protistas, hasta los procesos increíblemente complejos desde el punto de vista estructural, funcional y de comportamiento que se presentan en la reproducción de los animales superiores.

En la tercera unidad estudiamos la reproducción de las plantas. En la presente veremos, de forma general, las principales características del proceso reproductor en los animales.

5.1. Generalidades

Como se señaló anteriormente, si existe alguna característica de los sistemas vivientes que sea particularmente excepcional, es la capacidad de reproducirse y perpetuar su especie.

Para asegurar la supervivencia de cada especie es necesario que sus miembros individuales se reproduzcan, generando nuevos individuos que no únicamente sustituyan a los que mueren, sino también que perpetúen sus características genéticas y, a su vez, las hereden a las siguientes generaciones.

Los animales metazoarios perpetúan la especie y su continuidad genética mediante dos procesos reproductivos:

- La **reproducción asexual**, en la cual un individuo por diversos procedimientos genera uno o varios descendientes con idénticas características genéticas y estructurales.

• La **reproducción sexual**, en la que se requiere la existencia de células sexuales (gametos) masculinas y femeninas provenientes de individuos de sexos diferentes.

Como resultado de la unión de los gametos se obtiene un huevo o cigoto que, por sucesivas divisiones celulares mitósicas y mediante el desarrollo, crecimiento y la diferenciación celular, genera un individuo con características morfológicas y funcionales similares a las de sus progenitores (pero que, a su vez, posee cierta diversidad genética).

En las dos formas de reproducción de los animales, sexual y asexual, existe un grado de variación entre ellas, con respecto a otros organismos, como las plantas, por lo que consideramos importante resaltar algunas de las características más relevantes.

5.1.1. Reproducción asexual

Ya hemos visto que en la **reproducción asexual** es un solo progenitor el que da origen a dos o más descendientes, quienes tienen las mismas características hereditarias que las del progenitor.

¿Se presenta la reproducción asexual en los animales?

En los animales el proceso de reproducción asexual puede realizarse por:

a) División (bipartición o fisión).
b) Gemación.
c) Esporulación.
d) Fragmentación.

a) La **bipartición o fisión** es un tipo de reproducción asexual, por *división*, típico de los organismos unicelulares.

Bipartición. Consiste en que la célula madre se divide en dos partes aproximadamente iguales que darán origen a dos células hijas, las cuales, tras un periodo de reproducción molecular interna (es decir una interfase), completan su periodo de crecimiento y quedan en condiciones de volver a repetir el ciclo.

En este caso observamos que la división celular equivale a la reproducción de todo el organismo (por ejemplo amibas y bacterias).

b) La **gemación** se puede dar en organismos unicelulares, por ejemplo, en las levaduras y en los pluricelulares, como las esponjas, los celentéreos, los platelmintos y un buen número de especies vegetales.

Dentro de los *Phyla porífera* y *cnidaria* se presenta la reproducción por gemación, durante la cual una pequeña porción del cuerpo del progenitor, o yema, se separa del resto para dar origen a un nuevo individuo. Cuando la yema logra desprenderse del progenitor se establece como un individuo independiente (figura 5.1), y cuando la yema permanece fija pasa a ser un miembro más o menos independiente de una colonia.

Durante la gemación, la yema o porción del cuerpo progenitor que se desprende es una estructura especializada, pero no de manera exclusiva para la reproducción.

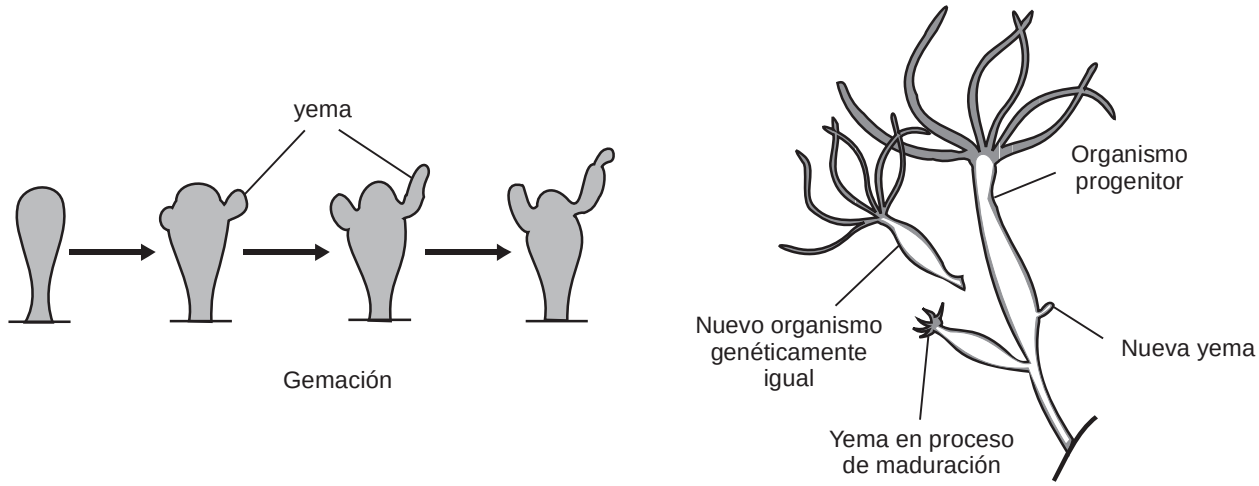


Figura 5.1. La gemación es una forma de reproducción asexual presente en la hidra y muchos otros organismos en la naturaleza.

c) El proceso de reproducción asexual denominado **esporulación** es característico de los hongos, las algas, los musgos, los helechos y algunos protozoos. Estos organismos producen las esporas, células especializadas para la reproducción, capaces de transformarse en un organismo adulto, caracterizadas porque:

- Son unicelulares y tienen un tamaño muy pequeño.
- Están protegidas por una gruesa pared que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables.

Estas dos características las hacen ser buenos propagadores de la especie, ya que pueden dispersarse llevados por el viento a grandes distancias y resistir condiciones muy extremas.

d) La **escisión** o **fragmentación** es un tipo de reproducción asexual muy común, tanto en animales inferiores como en vegetales.

Dentro del reino Animal existen algunos organismos, como las salamandras, las lagartijas, las estrellas de mar y los cangrejos, que son capaces de formar nuevos órganos o miembros de su cuerpo (colas, patas, brazos, etcétera) cuando por alguna razón han perdido el original.

La fragmentación es la capacidad de regenerar partes de sus cuerpos y, en algunos casos, llegar a ser un **mecanismo de reproducción**. Así, tenemos que es posible que el cuerpo del progenitor se rompa en varios fragmentos y que cada uno de éstos dé origen a un organismo completo al regenerar las partes y órganos faltantes.

Este proceso reproductivo es muy común en el *Phylum plathelminthes*. Dentro de los equinodermos existen estrellas de mar que pueden regenerar su cuerpo entero a partir tan sólo de uno de sus brazos.

La reproducción asexual favorece a los individuos de una especie para que se reproduzcan y propaguen en lapsos cortos y en ciertos casos con un número elevado de especímenes, en cambio tiene la inconveniencia de mantener en la progenie una igualdad genética que impide alcanzar la diversidad que sí se produce en la reproducción sexual.

5.1.2. Reproducción sexual

La **reproducción sexual** es característica de la mayoría de los animales. Recordemos que en la reproducción sexual siempre intervienen dos progenitores, quienes aportan, cada uno, una célula especializada o gameto: las hembras un óvulo (ovocito) y los machos un espermatozoide.

Los enunciados de la teoría celular: "Todos los organismos están formados por una o más células" y "toda célula se genera a partir de otra preexistente" fueron el fruto de un gran número de investigaciones y publicaciones de varios autores de 1805 a 1858, y fueron establecidos por Schleiden y Schwann en 1883 y por Virchow en 1855. Gracias a ellos se sentaron las bases para entender los principios básicos de la reproducción celular y posteriormente la reproducción sexual de los seres pluricelulares.

En los individuos que generan nuevos seres mediante reproducción sexual es totalmente imprescindible que se formen los gametos (o gametas), células haploides producidas por individuos de sexos diferentes, provenientes de células diploides que se caracterizan porque en ellas se presenta un proceso de reducción cromosómica conocido como **meiosis**, analizado en el libro didáctico de *Biología 1*. Los gametos masculinos y femeninos contienen en su núcleo la mitad de los cromosomas que poseen las células somáticas de una determinada especie animal. Es necesario que los gametos se unan entre sí en el proceso denominado fecundación para dar origen a una célula diploide llamada huevo o cigoto.

Los gametos tienen ciertas características que, por lo general, son comunes a la mayoría de los animales: el óvulo u ovocito es una célula esférica, grande e inmóvil que contiene muchos nutrimentos almacenados con el propósito de mantener el desarrollo del embrión en el caso que se produzca la fecundación. Los espermatozoides son pequeñas células móviles adaptadas para nadar vigorosamente utilizando su flagelo.

La ventaja biológica de la reproducción sexual es evidente, ya que la descendencia es el producto de los genes aportados por ambos progenitores, favoreciendo así la **variación genética** entre los individuos de la especie.

En la reproducción sexual de los animales, la fecundación se lleva a cabo cuando los progenitores femeninos y masculinos liberan los gametos y éstos se unen. Para que se lleve a

efecto la fusión de los espermatozoides y los ovocitos, los animales han desarrollado procedimientos de fecundación relacionados con el medio en que viven y la adecuación anatómica de los órganos genitales ocurrida durante los procesos evolutivos. De acuerdo con lo expuesto, la unión de los gametos puede ser **externa**, es decir, fuera del cuerpo de los progenitores, o **interna**, dentro del cuerpo. Diferentes clases de animales han adoptado alguna de estas dos estrategias para la fecundación y sus ventajas y desventajas las estudiaremos aquí.

¿Tiene alguna ventaja la reproducción sexual respecto a la reproducción asexual?

La fecundación externa, efectuada por peces y anfibios, requiere necesariamente de un medio acuoso, aunque muchas especies de insectos, las mariposas por ejemplo, depositan sus huevecillos en una superficie expuesta al medio ambiente (el haz o el envés de hojas de una planta). En ambos casos las futuras crías están expuestas a la acción de una serie de factores que pueden poner en alto riesgo su supervivencia (cambios de clima, acción de depredadores, etc.). En cambio, la fecundación interna no es tan azarosa como la fecundación externa, puesto que en la primera el macho deposita sus espermatozoides de manera directa dentro del cuerpo de la hembra, tal es el caso de aves y mamíferos, y con ello se garantiza el aporte de sustancias nutritivas necesarias para el desarrollo del nuevo ser y un ambiente que lo preserva de peligros en su supervivencia.

Ejercicio 1

1. La capacidad de reproducción de los seres vivos tiene como base fundamental:

a) La autorréplica del ADN.
b) La presencia de gametos de ambos sexos.
c) Que se produzca fecundación interna o externa.
d) La probable extinción de la especie.

2. Moléculas que poseen la capacidad, única en la naturaleza, de autorreplicarse:

a) Aminoácidos.
b) Carbohidratos simples.
c) Agua.
d) Ácido desoxirribonucleico.

3. Formas en las que puede llevarse a cabo la reproducción asexual en los animales:

a) _____.
b) _____.
c) _____.
d) _____.

4. Correlaciona los términos de la columna de la derecha con los de la izquierda (existe más de una respuesta correcta).

a) Regeneración de una parte del cuerpo que se ha perdido.	( )	I. Esporulación.
b) Es un procedimiento de reproducción de hidras y levaduras.	( )	II. Bipartición o fisión.
c) Genera células muy pequeñas, protegidas por paredes gruesas.	( )	III. Fragmentación.
d) De esta manera se reproducen helechos, hongos y musgos.	( )	IV. Gemación.
e) Sus miembros pueden formar colonias.	( )	
f) La población de amibas o bacterias aumenta en número.	( )	
g) Proceso que se presenta en erizos de mar, cangrejos y duelas hepáticas.	( )	
h) El individuo se divide en dos y genera dos seres genéticamente iguales.	( )	

5. Para que se efectúe la reproducción sexual se requiere la existencia de varias condiciones, excepto:

a) Que se formen gametos masculinos y femeninos.
b) Que las células sexuales se reproduzcan mediante mitosis.
c) Que los gametos sean células haploides.
d) Que las células sexuales se generen a través de meiosis.

6. Es la característica principal que establece la diferencia entre reproducción sexual y asexual:

a) Intervienen dos progenitores.
b) La fecundación externa.
c) El hermafroditismo.
d) La partenogénesis.

5.2. Gametogénesis

Sabemos que una de las condiciones indispensables para que en los animales se produzca la reproducción sexual es la capacidad que deben poseer los progenitores masculinos y femeninos para generar gametos: espermatozoides y ovocitos, respectivamente. Los individuos machos y hembras poseen órganos especializados, testículos y ovarios, en los que, mediante sucesivas divisiones celulares mitósicas y meióticas, se producen los gametos.

¿Cuál es el origen de las células sexuales?

La formación de gametos se denomina **gametogénesis** o **gametogenia**. Es un proceso similar en todos los organismos, aunque suelen existir diferencias en algunos aspectos del proceso de generación de las células sexuales. A continuación trataremos algunas características de este proceso.

El número de cromosomas y la cantidad de ADN es propio de cada especie animal o vegetal.

Como ya se ha mencionado anteriormente, las **células somáticas** de organismos que se reproducen sexualmente y que tienen sus cromosomas en pares homólogos, se denominan **diploides**. Las células *que les dan origen,* óvulo (ovocito) y espermatozoide, llevan en el momento de la fecundación la mitad del número de cromosomas (un cromosoma representante de cada par) de la especie; por esta razón a tales células se les denomina **haploides**.

Sin embargo, existen organismos, como los hongos y las bacterias, que tienen células somáticas haploides (figura 5.2).

Material procedente de:	Número de cromosomas
Bacteriófago T2. *Escherichia coli.*	1
Hongo. *Neurospora crassa*.	1
Espongiario. *Scypha ciliantum (esponja marina)*	13
Equinodermo. *Arbacia punctulata (erizo de mar).*	20
Teleósteo. *Cyprinus carpio (carpa).*	52
Ave. *Gallus domesticus (gallo doméstico)*.	39
Mamífero. *Homo sapiens (hombre).*	23

Figura 5.2. Número de cromosomas por célula haploide.

Dentro de la enorme variedad y diversidad de especies animales y vegetales que presentan reproducción sexual podemos distinguir dos ciclos vitales:

• **Ciclo vital haploide**. Corresponde a las especies más primitivas que tienen reproducción sexual. Los individuos son haploides y producen gametos haploides que con la fecundación darán origen a un cigoto diploide, el cual sufrirá una meiosis posterior para volver a formar un individuo haploide (ver reproducción en musgos).

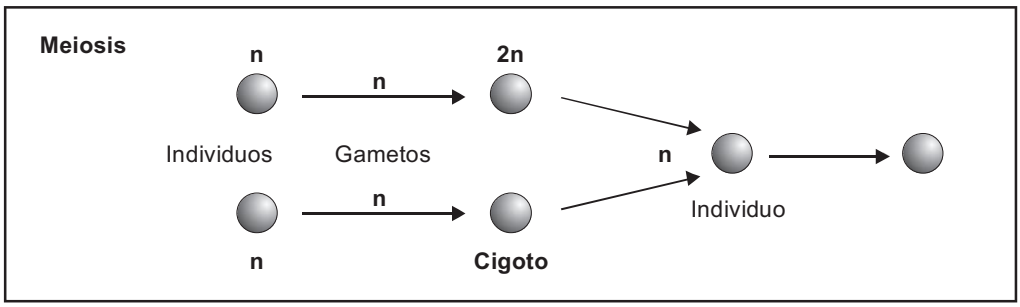


Figura 5.3. Ciclo vital haploide.

• **Ciclo vital diploide**. Es el más generalizado entre los animales y plantas superiores con reproducción sexual, incluyendo a la especie humana. Aquí la formación de los gametos se lleva a cabo mediante la meiosis, proceso de división celular que se realiza en células diploides contenidas en órganos especiales, y que resulta en la reducción a la mitad del número de cromosomas de los que poseen las células somáticas de un individuo adulto.

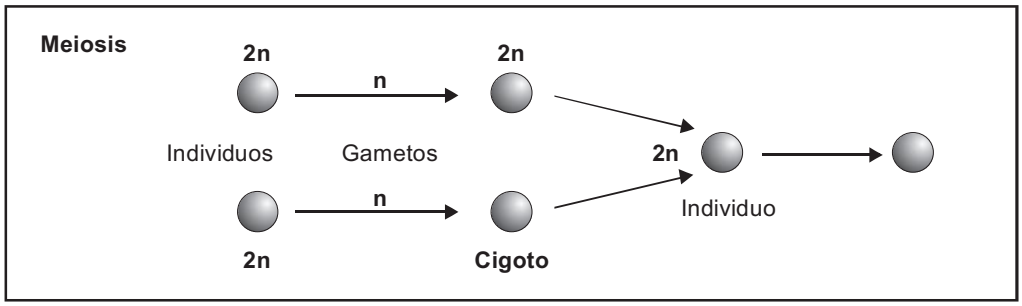


Figura 5.4. Ciclo vital diploide.

No obstante que antes de la fecundación se realiza la división meiótica, ésta siempre conduce directamente a la **gametogénesis** o formación de los gametos.

En las plantas, la meiosis se da generalmente en estructuras llamadas esporangios y produce células reproductivas llamadas esporas, y más tarde la planta que surge de éstas produce óvulos y espermatozoides —por mitosis—. En cambio, en los animales la meiosis se efectúa dentro de estructuras reproductivas especializadas y su resultado es la formación de los gametos (óvulos u ovocitos y espermatozoides).

Los animales presentan una gran variedad de mecanismos de reproducción, incluso los miembros de un mismo *phylum* pueden tener grandes diferencias en sus procesos reproductivos.

Una de las características de la reproducción de los animales es que, a diferencia de las plantas, en ellos no se presenta la alternancia entre las generaciones diploide y haploide; de hecho, no son apreciables dos generaciones de individuos diferentes en cuanto a su número cromosómico.

La alternancia de generaciones en los animales, especialmente los más primitivos, está relacionada con la alternancia de formas de reproducción asexual y sexual denominada **metagénesis**, que es generación de individuos haploides y diploides.

¿La alternancia de generaciones sexuales y asexuales está siempre relacionada con la alternancia de generaciones haploides y diploides?

Por ejemplo, en algunos hidrozoarios como la obelia (un tipo de pólipo) una generación produce por gemación (forma de reproducción asexual) a una generación de medusas, las cuales producen gametos que, al fecundarse (forma de reproducción sexual), dan origen a una nueva generación de pólipos. De esta manera se presenta una alternancia de generaciones pólipo-medusa en la que todas las generaciones constan de individuos diploides, por lo que no siempre se presentan ambos tipos de alternancia generacional simultáneamente.

Por otro lado, en la **partenogénesis** (reproducción considerada no sexual), un óvulo no fecundado se convierte en un animal adulto. Ejemplos de la partenogénesis los podemos observar en la naturaleza en el caso de ciertos moluscos gastrópodos, algunos crustáceos como las llamadas "pulgas de agua", especímenes del género *Daphnia* e insectos, en particular las abejas, y varios reptiles.

La partenogénesis es al parecer muy importante para mantener la estructura social en ciertas especies, y en otras es una simple adaptación para sobrevivir en tiempos de estrés o cuando se presenta un descenso fuerte en el número de individuos de una población.

El **hermafroditismo** es otro mecanismo de reproducción en el cual un solo individuo produce ovocitos u óvulos y espermatozoides. Por ejemplo, en cada proglótido de las tenias se generan ambos tipos de gametos.

Aunque ésta es una forma de reproducción que se considera sexual (al haber presencia de óvulos y espermatozoides), en realidad es excepción de la regla que establece la participación de individuos de diferente sexo. Casi todos los animales hermafroditas, aunque presentan los dos sexos, no se autofecundan, sino que copulan entre sí inseminándose mutuamente.

La lombriz de tierra, los caracoles de jardín y la almeja mercenaria, son casos típicos de hermafroditismo. Sin embargo, en ciertas especies, como la almeja mercenaria, la autofecundación se evita mediante el desarrollo de los testículos y del ovario en momentos distintos. En cambio, la ostra americana *Crossostrea virginica* alterna anualmente su sexo, es decir, un año produce espermatozoides y al siguiente óvulos.

¿Cómo se resuelve la incompatibilidad de presentarse en un mismo individuo la producción de óvulos y espermatozoides?

En el reino animal se presentan dos características que permiten considerar a la reproducción sexual un proceso especial; una de ellas es referente al número de gametos que deben generarse para que este tipo de reproducción pueda llevarse a cabo:

• Todos los animales producen heterogametos (par de células diferentes que deben unirse para que se forme un nuevo individuo).

• Se requiere la existencia de dos organismos de sexos diferentes, masculino y femenino, para que se origine un nuevo ser.

Esta modificación evolutiva de desarrollar un par de gametos (óvulo y espermatozoide) tiene gran significado adaptativo, ya que con el fin de realizar su función más eficientemente:

• Los gametos masculinos deben desarrollar la capacidad de moverse para reunirse con los gametos femeninos y efectuar la fecundación.

• Los gametos femeninos deben procurarse reservas alimenticias capaces de producir energía y materiales para el desarrollo del embrión.

5.2.1. Espermatogénesis

Los **espermatozoides**, células sexuales masculinas, se originan en los **tubulillos seminíferos** localizados dentro de los **testículos**. Se desarrollan a partir de células diploides especializadas denominadas **espermatogonios**. Al proceso de transformación de los espermatogonios en espermatozoides se le denomina **espermatogénesis**. Este proceso se puede describir de la siguiente manera (figura 5.5):

• Se inicia en las células diploides de las gónadas masculinas, llamadas espermatogonias o espermatogonios, las cuales pueden dividirse activamente por mitosis para producir nuevos espermatogonios, o pueden incrementar de volumen y transformarse en **espermatocitos primarios**.

• Los espermatocitos primarios sufren, en una sucesión bastante rápida, la reducción cromosómica o meiosis, dando origen a los **espermatocitos secundarios** (células haploides), Éstos, en la segunda etapa de la meiosis, generan las espermátidas.

• Las **espermátidas** sufren una serie de cambios profundos en su estructura, se transforman luego en **espermatozoides** (figura 5.5) y pierden la mayor parte del citoplasma.

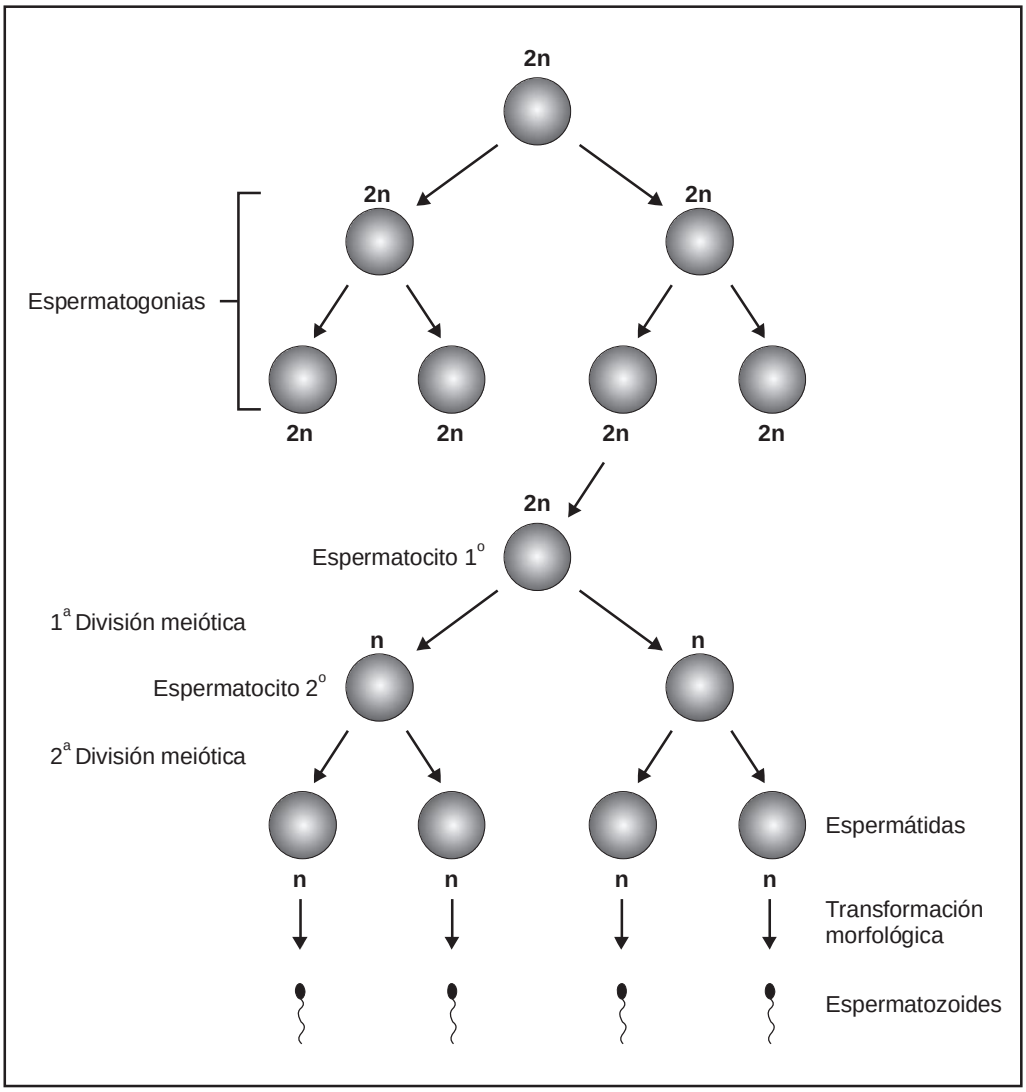


Figura 5.5. Proceso de espermatogénesis.

Un espermatozoide (figura 5.7) consiste de:

- Una cabeza que alberga un núcleo (cromosomas) compacto e inactivo.
- Una pieza intermedia formada por numerosas mitocondrias que rodean la porción proximal del flagelo.
- El flagelo formado por nueve pares de microtúbulos generados por uno de los centriolos que funciona como cuerpo basal.

Como ya sabes, los cromosomas situados en la cabeza del espermatozoide contienen tan sólo la mitad de la información genética que se necesita para la formación de un nuevo organismo.

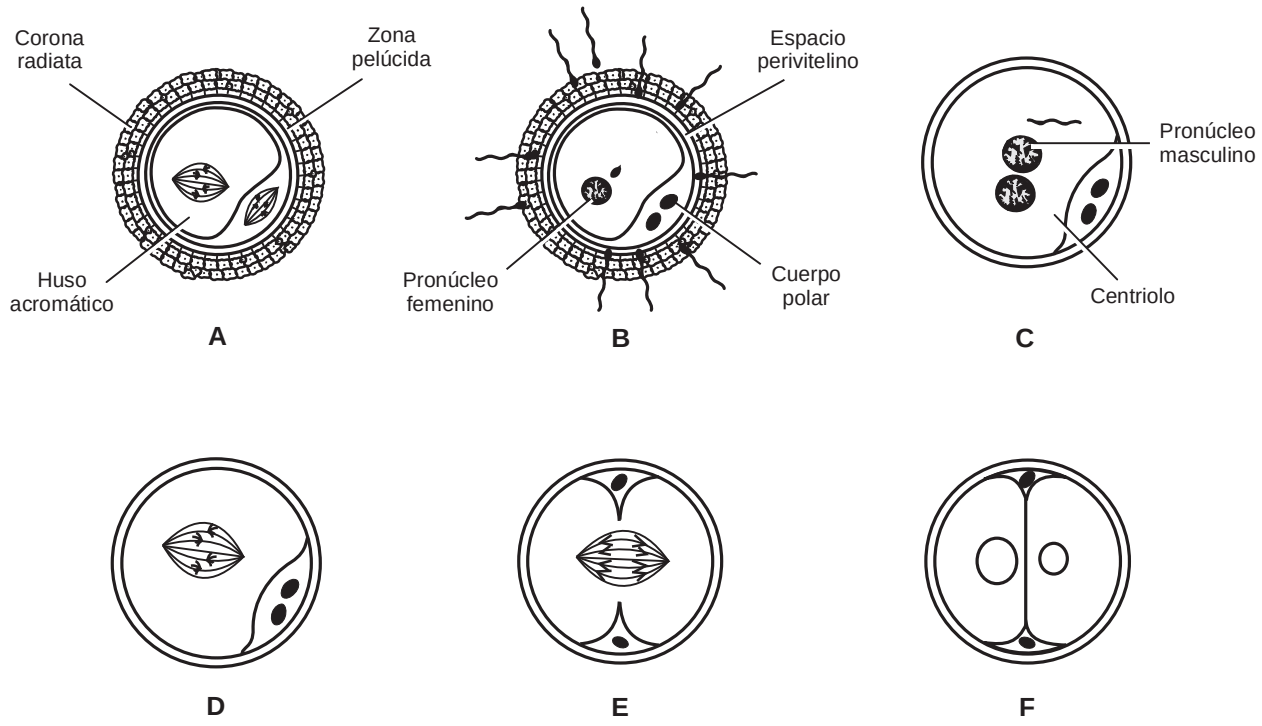


Figura 5.6. Esquema de la fecundación y de la primera división mitótica del huevo o cigoto.

Después de que se ha llevado a cabo la fecundación del ovocito, el otro centriolo será el responsable de la elaboración del **huso cromático** al cual se adhieren los cromosomas procedentes de los gametos masculino y femenino para ser transportados hacia las **zonas polares** durante la primera división mitótica (figura 5.6).

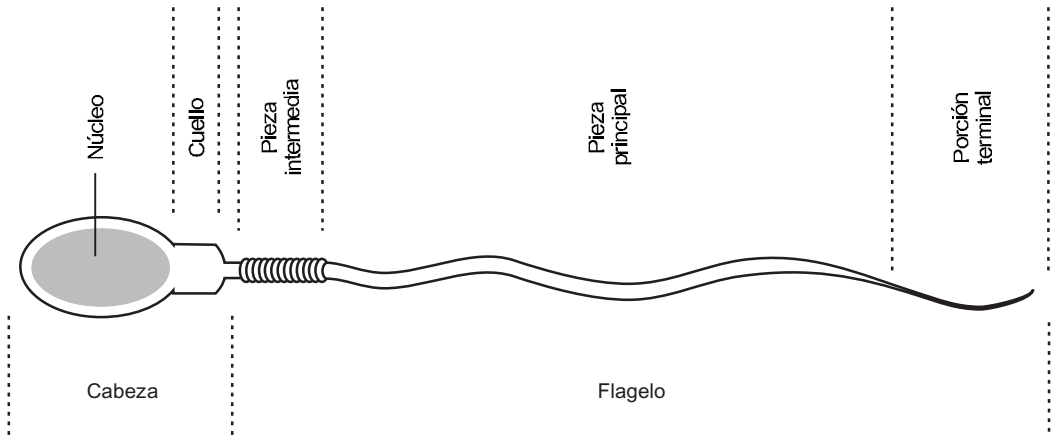


Figura 5.7. Esquema de un espermatozoide.

Ejercicio 2

1. Relaciona las dos columnas anotando dentro del paréntesis la letra correspondiente.

a) Proceso de formación de gametos. ( )
b) Células con cromosomas con pares homólogos. ( )
c) Células que al momento de la fecundación llevan un cromosoma representante de cada par. ( )
d) No presenta alternancia entre generaciones diploide y haploide. ( )
e) Alternancia de generaciones sexuales y asexuales en los animales. ( )
f) Desarrollo embriológico sin que exista fecundación. ( )
g) Mecanismo de reproducción a partir de un solo individuo. ( )

I. Hermafroditismo.
II. Partenogénesis.
III. Gametogénesis.
IV. Metagénesis.
V. Reproducción animal.
VI. Haploide.
VII. Diploide.

2. Es un ejemplo de célula haploide:

a) Neurona.
b) Espermatogonia.
c) Ovocito de primer orden.
d) Espermatozoide.

3. ¿Cuál de las siguientes células de los órganos sexuales masculinos y femeninos es diploide?

a) Ovogonia.
b) Espermátida.
c) Ovocito de segundo orden.
d) Espermatocito secundario.

4. Las denominadas "pulgas de agua" del género *Daphnia* se pueden reproducir cuando la población disminuye, mediante:

a) Hermafroditismo.
b) Bipartición o fisión.
c) Partenogénesis.
d) Alternancia de generaciones.

5. Escribe en el paréntesis la letra V si el enunciado es verdadero, y una F si es falso.

a) Casi todos los animales hermafroditas se autofecundan. ( )
b) La partenogénesis es muy importante para mantener la estructura social en ciertas especies. ( )

c) El desarrollar heterogametos es una modificación evolutiva de significancia adaptativa. ( )
d) La espermatogénesis es el proceso de desarrollo de los espermatozoides. ( )
e) Los espermatocitos secundarios se dividen por mitosis y originan espermátidas. ( )
f) Mediante la ovogénesis cada ovocito primario (primer orden) generará cuatro ovocitos fecundables. ( )

6. Se afirma que un animal es hermafrodita porque:

a) El ovocito no fecundado de un animal produce un individuo adulto.
b) Se reproduce por alternancia de generaciones haploide-diploide.
c) Un solo individuo genera ovocitos y espermatozoides.
d) Para reproducirse se requiere la presencia de gametos.

5.2.2. Ovogénesis

La célula sexual femenina es el **óvulo** u **ovocito**. A diferencia de los espermatozoides, el óvulo es una célula voluminosa, inmóvil y con gran cantidad de citoplasma que aloja abundante material nutritivo. Dependiendo de la especie animal, puede alcanzar dimensiones macroscópicas en algunos peces, reptiles y aves (el ovocito de una gallina es la yema del huevo), o de tamaños menores como el de los mamíferos (el de la especie humana mide aproximadamente 150 micrómetros de diámetro). Los ovocitos se forman en los **ovarios**.

La **ovogénesis** es el proceso de formación del ovocito (óvulo). Éste puede sintetizarse de la siguiente manera:

¿El proceso de ovogénesis se desarrolla de la misma manera en todos los animales?

- En las hembras, las células generativas diploides del ovario, u **ovogonias**, pasan por una serie de divisiones mitóticas y aumentan de volumen, a veces considerablemente, dando lugar a los llamados **ovocitos primarios** o **de primer orden**.
- Este aumento de volumen es el resultado de la acumulación de reservas que forman lo que se denomina **vitelo**, el cual está constituido principalmente por glúcidos, lípidos y proteínas; también se acumula en él una cantidad considerable de ribosomas.
- El ovocito de primer orden sufre la primera división meiótica produciéndose dos células, una pequeña denominada **primer corpúsculo polar**, que contiene principalmente material cromosómico, y otra grande, el **ovocito secundario** o de **segundo orden** (célula haploide) que posee casi la totalidad del citoplasma y el vitelo. El ovocito secundario en la gran mayoría de los animales requiere ser ovulado y fecundado para que se produzca la segunda fase meiótica. En la segunda fase de la división meiótica la célula expulsará el resto del contenido de ADN en forma

de un **segundo corpúsculo polar** (el cual sólo contiene ADN. Posteriormente se destruye). Si se analiza correctamente la ovogénesis debemos deducir que el estadio de óvulo no se llega a producir, porque una vez que el ovocito de segundo orden es fecundado se transformaría inmediatamente en un huevo o cigoto (célula diploide).

Vemos, por lo tanto, que *en la ovogénesis el resultado final es la formación de un único ovocito haploide*, debido a la degeneración de los corpúsculos polares (figura 5.8).

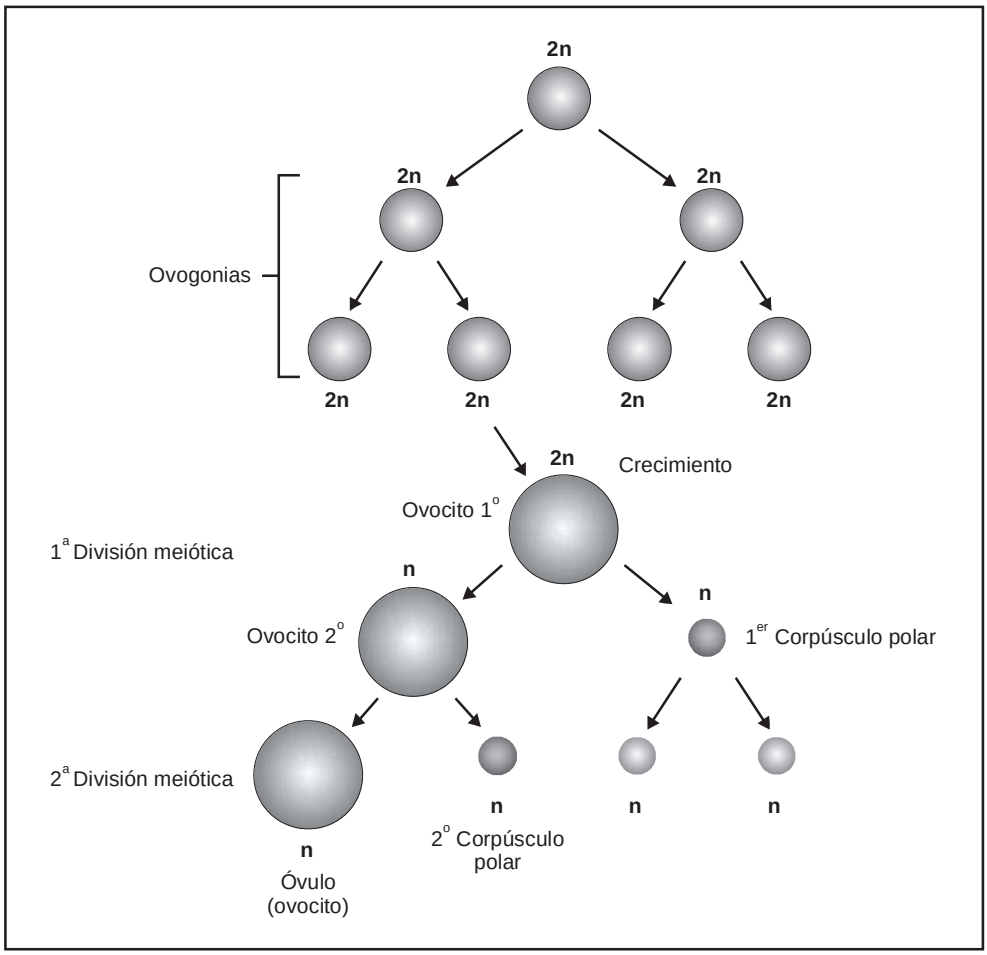


Figura 5.8. Esquema del proceso de ovogénesis.

En la mayor parte de los animales acuáticos y en los anfibios, la ovogénesis se realiza una vez al año. Sin embargo, en el caso de los reptiles, las aves y los mamíferos, el proceso se suspende mucho antes del nacimiento.

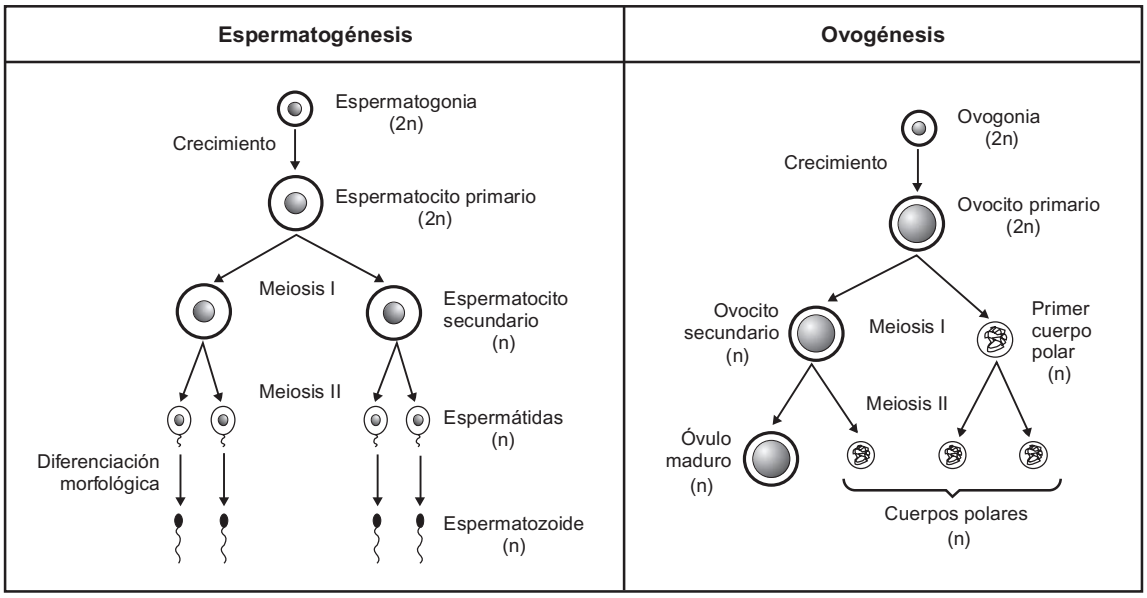


Figura 5.9. Esquema comparativo y representativo de la espermatogénesis y la ovogénesis.

En la especie humana la ovogénesis o multiplicación de los ovogonios concluye por completo en la vigésima semana del desarrollo del embrión o feto.

Cuando una niña nace, sus ovarios almacenan aproximadamente 400 000 ovocitos primarios, los cuales han alcanzado la profase de la primera división meiótica. Estos ovocitos primarios se mantienen en profase durante muchos años hasta que la niña alcanza la madurez sexual. Entonces, con la maduración de cada **folículo** se reanuda la primera división meiótica que es finalizada en el momento de la ovulación (ovocito maduro o fecundable); esto significa que un grupo de ovocitos de primer orden pueden permanecer en ese estadio entre 15 a 45 años después de iniciada la meiosis.

Podemos decir que el origen de un ovocito comienza a partir del momento en el cual los ovogonios se hallan en la profase de la primera división meiótica. La reanudación del desarrollo de los ovocitos primarios resultantes sólo se cumple una vez que el individuo ha alcanzado el **periodo de actividad reproductiva**. En las ranas, por ejemplo, esto sucede una vez por año (por lo general, en primavera), una vez que se han desarrollado como individuos adultos. Luego los miles de ovocitos primarios comienzan un periodo de crecimiento celular notable. Cada uno de ellos se halla envuelto por un conglomerado de células llamado folículo. El folículo es el responsable de proporcionar los materiales alimenticios necesarios para el crecimiento del ovocito. Durante este periodo el tamaño de los ovocitos de la rana aumenta muchas veces más.

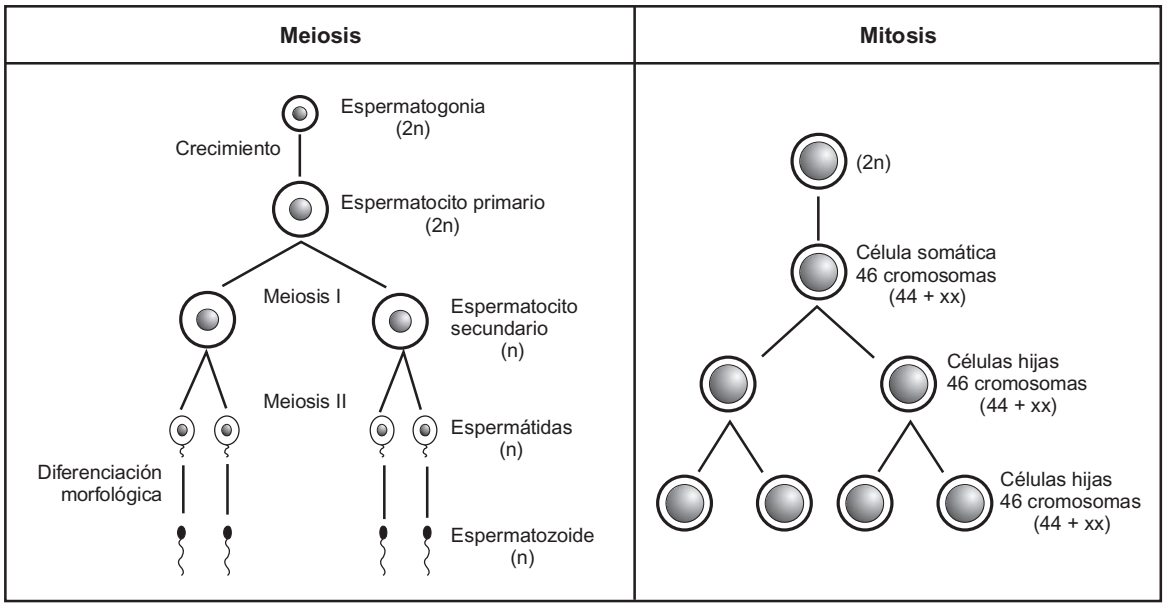


Figura 5.10. Analogías y diferencias entre mitosis y meiosis.

Al momento en que esta fase de desarrollo termina, el ovocito de rana se ha convertido en una célula esférica de gran tamaño (aproximadamente de 3 a 5 mm de diámetro) en cuyo citoplasma están contenidas grandes cantidades de ARN, vitelo, mitocondrias y sustancias nutritivas. Estos materiales no se encuentran distribuidos uniformemente a través de la célula, sino que se disponen siguiendo gradientes de concentraciones que se extienden de un polo al otro. Analizando la constitución del ovocito de rana observamos que presenta un hemisferio oscuro, denominado **polo animal**, lugar donde se concentra la mayor parte de los organelos citoplasmáticos del ovocito. Allí también se sitúa el núcleo. La presencia del material nutritivo (vitelo) se incrementa a medida que se aproxima al polo opuesto, que es de color más claro (gris blanquecino), llamado **polo vegetal** (figura 5.11).

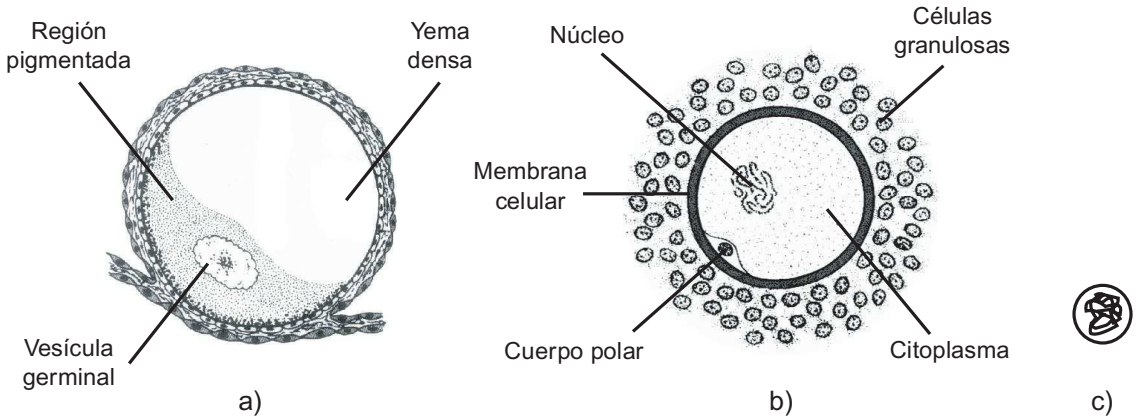


Figura 5.11. Esquematización de ovocitos: a) de rana, b) de mamífero y c) corpúsculo polar.

En el caso de muchos vertebrados la segunda división meiótica se desarrolla hasta la metafase y luego se detiene. Éste es justo el momento en que el ovocito está listo para abandonar el folículo y dar comienzo al proceso que conocemos como **ovulación**, donde el folículo y las paredes del ovario se abren y dejan pasar el ovocito hacia la cavidad abdominal para que de ahí penetre en el **oviducto**, donde son segregadas diversas sustancias accesorias que lo acompañarán.

En la rana, esta segregación consiste en albúmina gelatinosa en forma de anillos. En estos momentos el desarrollo del ovocito se encuentra suspendido, en un estado de aparente latencia hasta el momento en que ocurra la fecundación.

Por lo general el tiempo de vida tanto de los ovocitos como de los espermatozoides no llega más allá de unas cuantas horas. En el caso de los espermatozoides hay que agregar que la distancia que pueden nadar es limitada por diversos factores, como la cantidad de nutrimentos energéticos disponibles, el pH del medio, etcétera.

Ahora bien, por otro lado tenemos que la mayoría de los animales con fecundación interna poseen habilidades motrices que facilitan la proximidad de los sexos opuestos; así, los espermatozoides por sí mismos no requieren recorrer grandes distancias para alcanzar al ovocito (como en el caso de los animales acuáticos de fecundación externa).

Sin embargo, una condición necesaria que se debe cumplir en la relación entre la locomoción de los espermatozoides y la fecundación eficiente, es disponer de un medio húmedo.

Ejercicio 3

1. El paso de una ovogonia al estadio de ovocito de primer orden (primario) se caracteriza porque:

a) El material genético se le reduce a la mitad.
b) Aumenta de manera considerable el tamaño de la célula.
c) Es el resultado de la primera fase de la meiosis.
d) Se incrementa el citoplasma funcional y disminuye el vitelo.

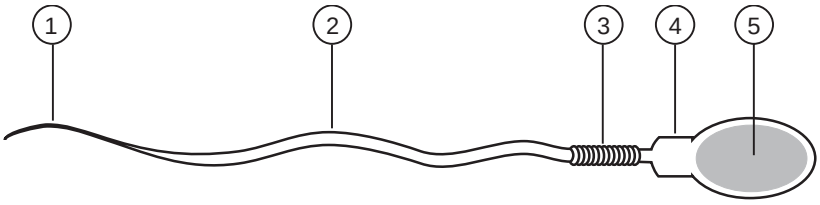
2. Cuando una niña nace, sus ovarios almacenan aproximadamente _____ ovocitos primarios, los cuales han alcanzado la _____ de la _____ _____ división _____.

3. El vitelo es una sustancia que integra el citoplasma de los ovocitos, constituido por varios de los componentes señalados, con excepción de:

a) Hidratos de carbono.
b) Lípidos.
c) Proteínas.
d) Ácido desoxirribonucleico.

4. En el siguiente dibujo señala la estructura que carece de microtúbulos flagelares.

a) 1
b) 5
c) 3
d) 4



5. Contesta con una V si el enunciado es verdadero y con una F si es falso.

a) Después de la fecundación, los dos centriolos del espermatozoide forman el huso acromático. ( )
b) Las sustancias nutritivas del huevo o cigoto las aporta el ovocito maduro. ( )
c) La reproducción sexual en animales requiere la unión de células haploides. ( )
d) Durante la espermatogénesis las espermátidas se dividen y originan dos espermatozoides. ( )
e) Para que el ovocito de segundo orden expulse el segundo corpúsculo polar debe ser fecundado. ( )

6. En el polo animal del ovocito de la rana se concentran principalmente cuatro componentes: a) _____ , b) _____ , c) _____ y d) _____ , mientras que el polo vegetal es ocupado mayoritariamente por el e)_____ , constituido por f) _____, g) _____ y h) _____.

5.3. Aproximación de los gametos

Probablemente los primeros animales terrestres fueron artrópodos semejantes a los arácnidos y a los insectos. Para poder reproducirse, estos organismos debieron solucionar al menos dos dificultades que plantea la reproducción en el medio terrestre: la unión de los gametos y su desecación por la acción del aire. Los animales acuáticos no necesitan buscar un ambiente húmedo para que se pueda llevar a cabo la unión de los gametos (fecundación), ya que una vez que cada progenitor ha producido sus respectivos gametos, aquélla puede realizarse directamente en el agua.

¿Cómo se propicia el acercamiento de los gametos?

En una condición ideal, los gametos son liberados en lugares relativamente próximos con la intención de aumentar las probabilidades de que se encuentren y se fecunden. Para esto se requiere que tanto machos como hembras de una misma especie completen su desarrollo sexual aproximadamente en la misma época y en el mismo lugar. Asociados con esta necesidad encontramos que muchos animales presentan comportamientos periódicos característicos de las épocas de apareamiento.

El "gruñón" es un pez que habita las costas californianas. En épocas de luna llena y de luna nueva los individuos de ambos sexos se dirigen hacia aguas bajas donde tiene lugar el **desove** y la liberación de los espermatozoides.

Existen otras especies donde el macho, en presencia de la hembra, ejecuta ciertas actividades de comportamiento (cortejo); tales actividades a la vez estimulan en la hembra conductas que culminan en la **postura** del huevo (poner un huevo).

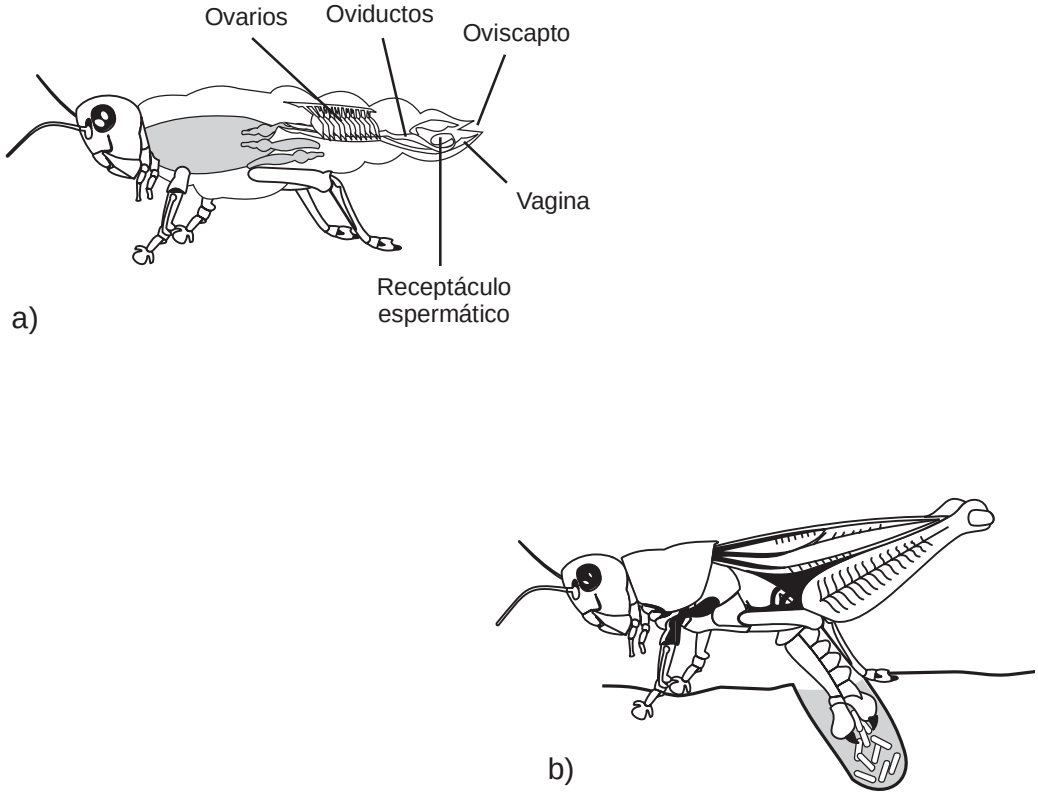


Figura 5.12. Proceso reproductor en los insectos.

Los machos de cualquier especie de insectos poseen un órgano especial, el **pene**, que se inserta dentro del cuerpo de la hembra. Este proceso se denomina **copulación** y durante él tiene lugar la transferencia de los espermatozoides. Éstos pueden permanecer depositados en los **receptáculos espermáticos** (figura 5.12a) hasta que la hembra esté lista para poner los huevos (figura 5.12b).

En el momento que los huevos descienden por el **canal genital** son fecundados por los espermatozoides. De esta manera, el vital proceso de la fecundación se realiza en el interior húmedo del cuerpo de la hembra.

Los anfibios fueron los primeros vertebrados terrestres. Como su nombre lo indica, son en realidad semiterrestres. Pareciera que esta clase de animales no pudo decidirse a dejar del todo su hábitat acuático. A pesar de tener respiración pulmonar, la reproducción sexual de la mayoría de las ranas y de los sapos se efectúa en el agua. Inclusive la fecundación tiene lugar en el agua. Por ejemplo, el macho de la "rana toro" abraza a la hembra durante el acto sexual, llamado **amplexo**, y cuando la hembra pone sus millares de huevos en el agua, el macho deposita sobre ellos los espermatozoides. Como puedes notar, en este caso no hay copulación.

Tomando en cuenta ese estilo de vida ambiguo que practican los anfibios entre agua y tierra, se puede afirmar ahora que los reptiles fueron los primeros vertebrados verdaderamente capaces de vivir en un ambiente terrestre, desarrollando varias adaptaciones importantes, tanto estructurales como fisiológicas, que les han permitido prosperar en climas cálidos e inclusive secos.

El problema que se presenta en los animales acuáticos al adaptarse al medio terrestre es el de proporcionar un ambiente húmedo para los gametos y de este modo hacer posible la reproducción sexual, lo cual fue resuelto mediante la **fecundación interna**.

Los reptiles machos, al copular con las hembras, introducen los espermatozoides directamente en los conductos genitales de éstas. Las clases "superiores" de aves y mamíferos también optaron por resolver el problema por medio de la unión de los gametos en un ambiente húmedo mediante copulación, seguida de fecundación interna.

5.4. La fecundación

A diferencia de lo ocurrido con los helechos y con los musgos, no se tiene evidencia de que los espermatozoides de los animales de algún modo sean guiados hacia el ovocito, por lo cual aún se sostiene que el encuentro se realiza al azar. No obstante, algunos científicos sostienen que la probabilidad de que los gametos lleguen a unirse es alta, si se tiene en cuenta que son millones de espermatozoides los liberados relativamente cerca del gameto femenino.

La **fecundación** se inicia en el momento mismo en que el espermatozoide se adhiere al ovocito.

¿Cómo se lleva a cabo la fecundación en los animales?

Cuando esto sucede, los espermatozoides liberan enzimas que deshacen la membrana o la capa de células foliculares (corona radiata), la cual generalmente cubre al ovocito. Inmediatamente después la cabeza del espermatozoide que contiene el núcleo y un centriolo penetra en el ovocito. En este proceso inicial de la fecundación se cree que el ovocito desempeña un importante papel ya que, aparentemente, las estructuras del espermatozoide son atraídas hacia su interior.

A la penetración de la cabeza del espermatozoide dentro del ovocito le siguen una serie de drásticas transformaciones en el interior del mismo. Los componentes citoplasmáticos rápidamente se reorganizan. En la rana se puede apreciar la aparición de ciertas granulaciones citoplasmáticas en la superficie del ovocito, en la región conocida como *medialuna gris* (figura 5.11).

Actualmente se conoce el mecanismo por el cual en muchos ovocitos los cambios producidos por la penetración de un espermatozoide impiden, de inmediato y de alguna manera, que otros espermatozoides también penetren. Sin embargo, esto no ocurre en animales que poseen ovocitos de gran tamaño, como los reptiles, las aves y el ornitorrinco. En estos organismos, aunque varios espermatozoides logran penetrar en el ovocito, solamente el núcleo de uno de ellos contribuye a la formación del futuro cigoto. En cualquiera de los casos, la entrada de un espermatozoide dentro del ovocito propicia la reanudación y complementación de la segunda división meiótica que lleva a la formación y expulsión de un **segundo cuerpo polar**.

Se considera que la fecundación ha terminado cuando el centriolo del espermatozoide se duplica y los microtúbulos polimerizados comienzan la formación de un huso cromático sobre el cual se distribuyen inicialmente los cromosomas procedentes del espermatozoide y posteriormente los cromosomas del ovocito. En ese instante se ha formado un huevo o cigoto con un conjunto diploide de cromosomas, con lo cual se completa la fecundación.

Poco después comienza el desarrollo embrionario al producirse la primera división mitótica de las células que forman el nuevo organismo.

Ejercicio 4

1. Relaciona las dos columnas:

a) Proceso durante el cual tiene lugar la transferencia de espermatozoides.	( )	I.	Receptáculos espermáticos.
b) Estructuras de la hembra de insectos que almacenan espermatozoides.	( )	II.	Copulación.
c) Acto sexual en las ranas toro.	( )	III.	Huso cromático.
d) Tipo de fecundación animal mediante el cual queda resuelto el problema de proporcionar un ambiente húmedo a los gametos.	( )	IV.	Amplexo.
e) Se considera que la fecundación ha terminado cuando se inicia su formación.	( )	V.	Interna.

2. Menciona dos condiciones que deben estar presentes para que los espermatozoides puedan fecundar a un ovocito.

a) _____.
b) _____.

3. Vertebrados en los que no se requiere copulación para que se lleve a cabo la fecundación.

a) Aves.
b) Reptiles.
c) Anfibios.
d) Mamíferos.

5.5. El desarrollo del embrión

Al estudiar las características de las especies que constituyen los diferentes *phyla* animales se logró constatar que existe una relación importante entre el número de gametos, especialmente de ovocitos que son producidos por las diferentes especies de animales y la atención que estas especies dan al cuidado de los **embriones** durante los primeros estadios de su desarrollo.

Una condición necesaria para mantener estable el tamaño de una población animal es la que señala que se requiere que por lo menos dos crías alcancen la madurez por cada pareja de progenitores. Al tratar de cumplir esta condición, que propicia la permanencia de la especie, encontramos que en el reino animal se siguen diferentes estrategias.

¿Cuáles son las razones para cuidar a las crías?

Típicamente las especies que cuidan a sus crías no producen gran número de gametos femeninos, ya que los cuidados paternos están dirigidos a asegurar que dos de sus descendientes maduren sexualmente, puedan reproducirse y de esta manera contribuir a perpetuar la especie.

Tenemos así que las especies que no cuidan sus embriones, producen una gran cantidad de gametos tanto masculinos como femeninos con la esperanza de que las probabilidades actúen a favor de esas dos crías necesarias, mientras que las especies que prestan cuidado y atenciones a sus embriones, no necesitan producir tantos gametos.

5.5.1. Embriones acuáticos

Pocos son los animales acuáticos que prestan algún cuidado a sus huevos una vez que han sido fecundados. En tales casos la mortalidad de los embriones en proceso de desarrollo (larvas) es extremadamente alta. Para compensar esta situación, la producción de ovocitos por parte de las hembras es, a su vez, muy alta. Por ejemplo, la hembra de la ostra americana, *Crassostrea virginica*, puede producir periódicamente un millón de ellos. Sin embargo, la probabilidad de que cualquiera de estos ovocitos se desarrolle y convierta en una ostra madura es extremadamente pequeña. La mayor parte morirá aun después de haber sido fecundados y haber alcanzado cierto grado de desarrollo, debido a la acción de los depredadores, por infecciones o bajo el efecto de sucesos desfavorables.

¿Cómo cuidan a sus crías los animales acuáticos?

No todos los organismos acuáticos se desentienden de sus crías, por ejemplo, muchos bivalvos de agua dulce y algunos peces proporcionan algunos cuidados a sus huevos. La almeja de agua dulce retiene los ovocitos fecundados en las agallas hasta cuando llega el periodo de incubación. El macho del pez espino se encarga de la construcción de un "nido" para luego dedicarse al cuidado y ventilación de los huevos que la hembra deposita en él.

En los animales acuáticos la mayor parte de los huevos son de tamaño relativamente pequeño y, en muchas especies, del huevo no emerge un organismo parecido, aunque sea en miniatura, a sus progenitores, sino que los nuevos individuos emergen en un estadio larval de apariencia bastante diferente a los adultos.

Por lo regular las larvas nadan libremente y se alimentan de animales y plantas de tamaño microscópico, los cuales reciben el nombre colectivo de **plancton**. De esta manera pueden disponer de cantidades adicionales de nutrimentos, lo que les permite continuar su desarrollo. Después de un cierto periodo de crecimiento, la larva experimenta una metamorfosis y reorganiza su estructura conforme al patrón estructural de un ejemplar adulto de su especie. La **metamorfosis** en los animales acuáticos puede comprender varias etapas (como en los crustáceos y en los moluscos) o puede realizarse mediante una transformación sencilla y de corta duración (como en los equinodermos).

Estas generalizaciones sobre el desarrollo embrionario de los animales acuáticos tienen una excepción en los peces cartilaginosos: los tiburones, las lisas y las rayas. En estas especies el nivel de concentración de la urea en la corriente sanguínea es tal, que la sangre es **hipotónica** (su concentración acuosa es mayor con respecto al agua marina).

Sin embargo, esta adaptación fisiológica no se encuentra desarrollada en los embriones, por lo que los peces cartilaginosos han desarrollado dos mecanismos que impiden la deshidratación osmótica de sus embriones, lo que desde luego resultaría fatal tanto para la cría como para la especie.

El primer mecanismo para proteger al embrión consiste en encerrar los huevos fecundados en un estuche impermeable y resistente junto con una porción del medio acuoso apropiado (figura 5.13). Con cierta frecuencia es posible observar los estuches de los huevos vacíos entre los despojos que las corrientes oceánicas arrojan en las playas.

El segundo mecanismo desarrollado por los peces cartilaginosos consiste en retener el embrión en desarrollo dentro del cuerpo materno hasta que pueda mantener por sí solo un nivel alto de concentración de urea en la sangre. Las especies que han desarrollado esta última estrategia son **vivíparas**.

En cualquiera de las dos soluciones se requiere que la fecundación de los ovocitos sea interna (el estuche de huevos de los tiburones y rayas es impermeable tanto al agua como a los espermatozoides, por lo que su formación es, necesariamente, posterior a la fecundación). En la fecundación interna de los peces cartilaginosos los espermatozoides son introducidos directamente en el cuerpo de la hembra durante el proceso de copulación. Para esto, las aletas modificadas del macho contribuyen a aprisionar a la hembra mientras tiene lugar la transferencia de los espermatozoides.

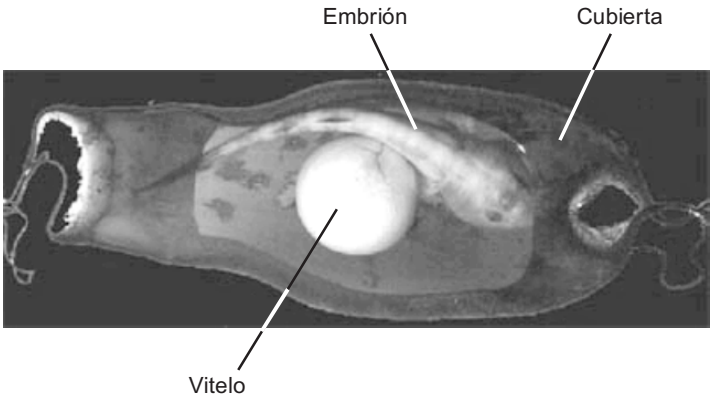


Figura 5.13. Fotografía de un huevo de tiburón.

5.5.2. Embriones terrestres

En el caso de los animales terrestres es indispensable disponer de algún mecanismo que proteja el desarrollo del embrión de la acción desecante del aire.

Los insectos proporcionan la protección requerida a sus embriones por medio de una cubierta impermeable que es depositada alrededor de cada huevo. En algunos casos se desarrolla una cápsula o saco para cubrir y proteger todo un conjunto de huevos.

El número de huevos fecundados puestos en cada estación varía entre centenas y miles, según cada especie en particular, y también según el cuidado que se le proporcione a los huevos.

Como ya mencionamos anteriormente, la menor cantidad de huevos significa, para los embriones, una mayor probabilidad de supervivencia y, por lo tanto, de alcanzar el estado adulto.

¿Cómo cuidan a sus crías los animales terrestres?

El cuidado de la cría alcanza un desarrollo máximo en las hormigas y en las abejas, las cuales forman sociedades muy especializadas (ciertos individuos se encargan de la protección y cuidado de los embriones de la colonia). En estas especies, un porcentaje muy alto de los huevos fecundados se desarrolla hasta alcanzar la madurez. Sin embargo, para mantener estable la población, la mayoría de las crías son obreras estériles.

La mayor parte de los anfibios comunes no presentan especial cuidado por sus huevos. Una vez que han sido fecundados, los huevos son abandonados en el agua en donde se desarrollan por sí mismos. Las capas gelatinosas de albúmina que rodean al huevo absorben agua, por lo que se hinchan y proporcionan protección física al embrión. Esto también permite mantener al huevo con una temperatura un poco superior al agua circundante; la gelatina de color claro es transparente a la porción visible del espectro de la radiación solar. Sin embargo, la superficie superior del huevo en desarrollo es oscura y absorbe los rayos luminosos eficientemente, por lo que la energía lumínica se transforma en calor que proporciona abrigo al embrión. La sustancia

gelatinosa que rodea el huevo es un buen aislante térmico, por lo cual el embrión irradia menor cantidad de energía que la que recibe.

Es interesante notar que la superficie superior oscura del huevo fecundado proporciona, por otro lado, protección en contra de los depredadores. Si se observa por arriba, difícilmente se puede distinguir el huevo del fondo oscuro de los estanques. De la misma manera, la luz que atraviesa la gelatina del huevo se fusiona con la luz del firmamento cuando es observado desde abajo, lo que se presenta como una estrategia de protección contra depredadores.

En los reptiles, los huevos son fecundados en el tubo genital de la hembra. Una vez realizada la fecundación, se deposita una capa impermeable alrededor de cada huevo a medida que desciende por el oviducto. Con esto se soluciona el problema de mantener al embrión en un ambiente húmedo después de la postura del huevo.

Existen especies de reptiles que entierran sus huevos en lugares húmedos y tibios para después abandonarlos a su suerte. Estos huevos están provistos de un vitelo abundante con el cual se nutre el embrión. Cuando la cría sale del huevo es ya un individuo característico de su especie, aunque de menor tamaño que sus progenitores. Y desde ese momento las crías deben valerse por sí mismas. Un ejemplo de estos organismos lo tenemos en las tortugas marinas.

En algunos reptiles, como la serpiente de jarretera, la madre retiene los huevos en su cuerpo hasta que la cría se desarrolla y abandona el huevo. Durante este periodo el embrión se nutre a partir de la substancia vitelina y no directamente de los tejidos de la madre.

Tiempo después de que los reptiles colonizaron por primera vez el medio terrestre, algunas especies optaron por regresar al ambiente acuático. Tenemos hoy día algunos representantes de ese fenómeno: una especie de lagarto (la iguana marina), algunas serpientes, las tortugas marinas y las diferentes especies de cocodrilos y caimanes que permanecen la mayor parte de su vida en el agua, y sin embargo regresan a la tierra firme a depositar sus huevos.

Las tortugas marinas ponen alrededor de 125 huevos en cada **postura** y, aunque son abandonados sin protección alguna por sus padres, el promedio de mortalidad es suficientemente bajo como para mantener estable la población.

Las aves pertenecen a los seres vivos que están totalmente adaptados a la vida en sitios secos. Al igual que muchos de los reptiles (de los cuales se cree descendieron) ponen huevos cubiertos por una cáscara protectora.

El desarrollo de los embriones dentro del huevo es cuidado y protegido por los padres. Los huevos contienen abundante vitelo y los polluelos abandonan el cascarón cuando ya poseen la mayor parte de las estructuras del adulto. Sin embargo, los padres continúan cuidando de la cría recién empollada hasta que está realmente en condiciones de cuidarse por sí misma.

Los cuidados que los progenitores proporcionan al desarrollo del embrión y posteriormente a la cría, explican el hecho de que las aves raras veces pongan más de 20 huevos, y que inclusive el promedio se aproxima a cuatro en cada postura.

La cáscara del huevo es obviamente una adaptación importante que permite a los embriones, tanto de las aves como de los reptiles, desarrollarse en sitios apartados del agua. El estudio de

un huevo de un ave común, como la gallina, nos puede mostrar las características especiales de estas estructuras. El huevo consiste en una gran cantidad de vitelo, albúmina y una pequeña cantidad de citoplasma.

Después de la fecundación, pero aún dentro del interior de los oviductos maternos, el huevo es rodeado por capas gruesas de albúmina acuosa (la clara de huevo) y por una cáscara formada por carbonato de calcio. Esta cáscara es permeable a los gases, pero prácticamente impermeable al agua.

Conforme el embrión se va desarrollando a partir del cigoto, se van constituyendo también cuatro membranas especiales (figura 5.14). Estas membranas (conocidas como "membranas extraembrionarias") se forman a partir del embrión, pero forman parte de éste únicamente mientras permanece dentro del huevo.

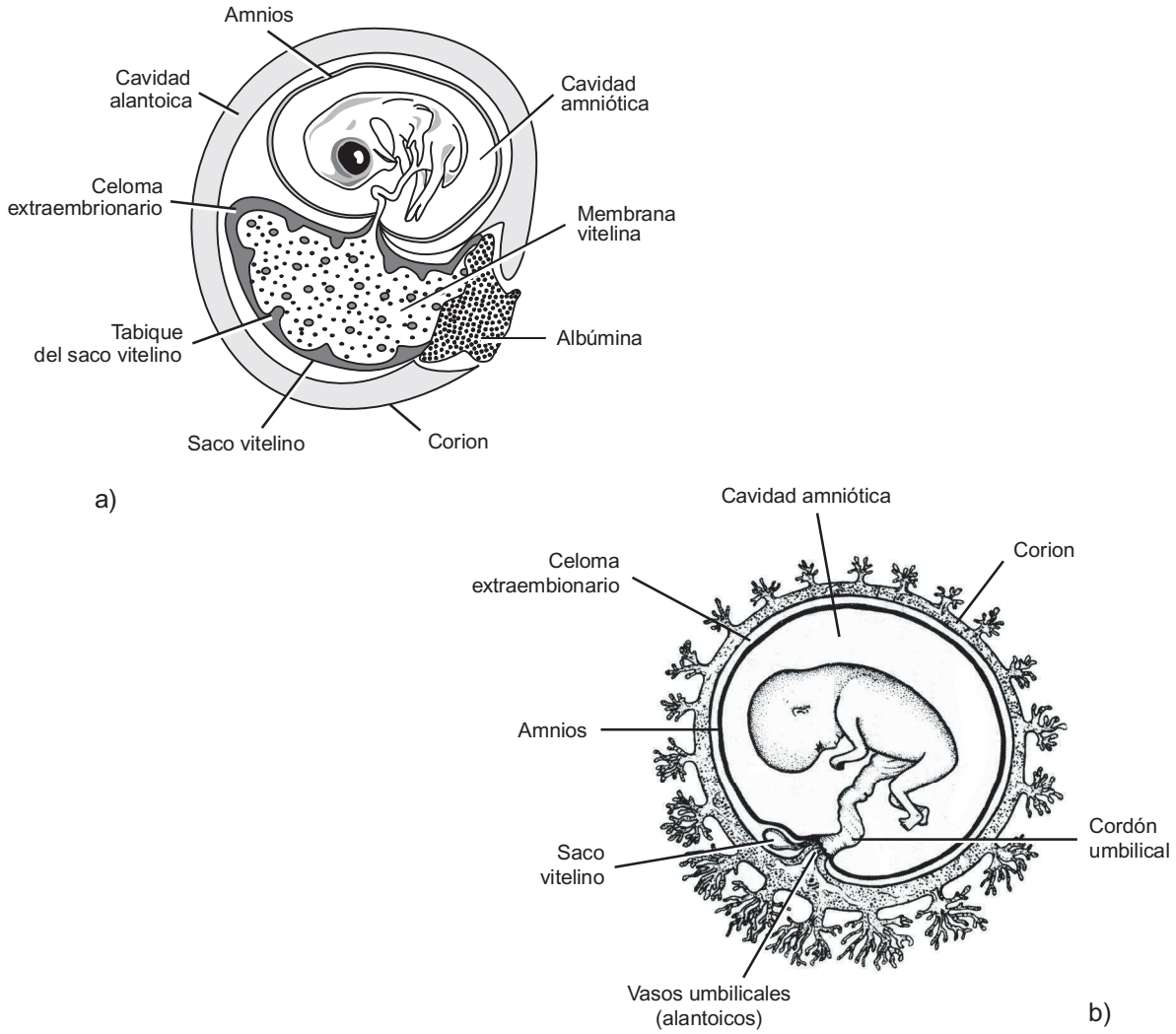


Figura 5.14. Membranas extraembrionarias: a) de un ave, y b) de un mamífero (humano).

Las cuatro membranas que se forman a partir del embrión son las siguientes:

1. El **saco vitelino**, el cual rodea el vitelo y comunica al embrión con su principal fuente de nutrimentos. La mayor parte del alimento contenido en el vitelo está compuesto de grasas. Esto es en realidad una *adaptación significativa*, dado que la oxidación de las grasas produce grandes cantidades tanto de energía como de agua.

2. El **amnios** es una membrana que crece alrededor del embrión y forma una cavidad llena de líquido. Gracias al fluido que contiene la cavidad amniótica, el embrión del pollo se mantiene tan húmedo como podría estarlo el embrión de un pez dentro de un estanque.

3. El **corion** es la membrana que tapiza la superficie interior de la cáscara del huevo y contribuye al **intercambio gaseoso** (oxígeno y dióxido de carbono) que se establece entre el embrión y el ambiente exterior.

4. La **alantoides**, membrana cuya utilidad es la de ser un depósito de los desperdicios metabólicos (particularmente ácido úrico) excretados por el embrión durante su desarrollo. A medida que la alantoides se desarrolla, participa también en el intercambio gaseoso.

Mientras el embrión se desarrolla dentro del huevo por medio de estas cuatro membranas, lleva a cabo funciones metabólicas esenciales.

Es interesante notar que estas cuatro membranas son desarrolladas por los embriones de las aves, los reptiles y los mamíferos.

Dentro de los mamíferos, exceptuando exclusivamente a la equidna y al ornitorrinco, las membranas no están relacionadas con la presencia de un huevo rodeado de cáscara. Los ovocitos en los mamíferos presentan muy poca cantidad de vitelo y después de la fecundación son mantenidos dentro del oviducto. Las membranas extraembrionarias se hunden en las paredes del útero, que es una porción amplificada del oviducto. Una vez que se ha agotado la pequeña cantidad de nutrimentos que se encuentra en el interior del huevo, el alimento que se requiere para su posterior desarrollo se obtiene por medio de un intercambio con el sistema circulatorio de la madre.

En los marsupiales (entre los cuales sólo la zarigüeya se localiza en América), el saco vitelino cumple la función de proveer de nutrimentos al embrión durante algún tiempo. Sin embargo, dicha función no se logra desarrollar y en consecuencia las crías nacen en estado prematuro (figura 5.15).

A pesar de esto, la madre posee un receptáculo denominado bolsa marsupial, situada en el abdomen, a donde se dirigen las crías recién nacidas para su protección y la reanudación de su crecimiento. Allí pueden adherirse a los pezones de la madre y consumir la leche procedente de las glándulas mamarias hasta que las crías se desarrollen lo suficiente como para poder independizarse.

Figura 5.15. Crías de los marsupiales. Arriba, zarigüeya; abajo, canguro.

En los demás mamíferos las membranas extraembrionarias conforman la **placenta** y el **cordón umbilical**, el cual establece la comunicación del embrión con la madre de manera más eficiente. Es interesante notar que el flujo sanguíneo de la placenta se continúa directamente dentro del embrión, y aunque los capilares de la placenta mantienen estrecho contacto con la sangre materna, no ocurre, por lo regular, mezcla alguna entre sangre de la madre con la sangre del embrión.

La placenta obtiene de la pared del útero alimentos y oxígeno provenientes de la circulación materna. El dióxido de carbono y otros desechos metabólicos del embrión (por ejemplo, urea) también son transportados hacia el sistema circulatorio de la madre, de donde son finalmente eliminados a través de sus órganos de excreción.

En lo que al cuidado de la cría se refiere, cabe señalar que aunque en los mamíferos el desarrollo intrauterino dura más tiempo que en los marsupiales, se presenta una gran variedad, según las diferentes especies, en cuanto al grado de impotencia y dependencia con que nacen las crías. Sin embargo, una constante en esta clase de animales es que en todas las especies los recién nacidos requieren un periodo de alimentación con leche suministrada por las glándulas mamarias de la madre.

Otro rasgo interesante es que, en algunas especies, el cuidado de la cría incluye entrenamiento para adquirir patrones de conducta característicos de la especie, como es el caso del zorro, que enseña a sus pequeñuelos las técnicas de cacería.

Ejercicio 5

1. Menciona los dos mecanismos por los cuales los peces cartilaginosos protegen a sus crías.

a) Peces cartilaginosos ovíparos: _____.
b) Peces cartilaginosos vivíparos: _____.

2. Correlaciona los términos de la columna de la derecha con los de la izquierda.

a) Cubierta gelatinosa de albúmina.	( )	I. Peces cartilaginosos: tiburones y rayas.
b) Estuche flexible impermeable y resistente.	( )	II. Mamíferos: caninos, felinos, humanos.
c) Cáscara protectora de carbonato de calcio.	( )	III. Anfibios: ranas, sapos y ajolotes.
d) Amnios, alantoides, placenta y cordón umbilical.	( )	IV. Aves: palomas, gallinas y golondrinas.
e) Cáscara protectora ligeramente flexible.	( )	V. Reptiles: tortugas, cocodrilos y serpientes.

3. Componente extraembrionario que pertenece exclusivamente a los mamíferos.

a) Placenta.
b) Alantoides.

c) Amnios.
d) Saco vitelino.

4. Clase del *Subphylum vertebrata* en cuyos integrantes el saco vitelino no interviene almacenando y proporcionando sustancias nutritivas al embrión.

a) Peces.
b) Aves.
c) Reptiles.
d) Mamíferos.

5. Menciona los seis anexos embrionarios que poseen los embriones humanos.

a) _____.
b) _____.
c) _____.
d) _____.
e) _____.
f) _____.

5.6. Factores ambientales

Los tejidos en pleno crecimiento y desarrollo que constituyen el cuerpo del embrión poseen sensibilidad diferencial ante los cambios en los nutrimentos, la presencia de inhibidores y de sustancias que impiden la asimilación total o parcial de sustancias metabólicas y ante diversos agentes ambientales. Cualquiera de estos factores, aplicados durante un periodo crítico adecuado, puede cambiar el curso del desarrollo y la diferenciación de las células.

¿Cómo afectan los factores ambientales al embrión?

Los factores como la temperatura, la humedad, la luz, la gravedad, la presión y las sustancias químicas en el medio circundante afectan al embrión. Por lo tanto, si algunas células del embrión están sometidas a condiciones ambientales un poco distintas a otras células vecinas, proliferarán y se diferenciarán de manera diferente.

Por ejemplo, las células del exterior de la *gástrula* están en contacto directo con factores del microambiente distintos a los que afectan a las células que recubren el interior del embrión. Estas diferencias influyen de tal manera en los procesos metabólicos y diferenciación celular y en el comportamiento genético de cada una de ellas, que las células externas, por ejemplo, originarán componentes celulares de la piel, mientras que las células internas se orientarán para constituir componentes de aparato digestivo.

Si bien es obvio que el crecimiento y desarrollo de los animales se ven afectados por el alimento que ingieren, el aire que respiran, los organismos patógenos que los infectan y las sustancias químicas a los que se ven expuestos, es menos obvio que el desarrollo prenatal también es afectado por esos mismos factores ambientales. La vida antes del nacimiento es, de hecho, más susceptible a las influencias ambientales que la vida después de él.

El embrión pasa por un periodo crítico al comenzar su desarrollo estructural, cuando factores o circunstancias ambientales pueden interferir con los movimientos o divisiones celulares, impidiendo que adquiera su tamaño o forma normales, lo que se traduce en una deformidad permanente.

Por ejemplo, puesto que la mayor parte de las estructuras en el ser humano se forman durante los primeros tres meses de vida embrionaria, el embrión es mucho más susceptible a las condiciones ambientales en ese periodo. Durante una fracción de ese tiempo es muy probable que la madre ni siquiera se percate de que está embarazada, por lo que también es factible que no tome las precauciones necesarias para reducir al mínimo las influencias potencialmente dañinas.

Es importante señalar que el papel de los factores ambientales como agentes mutagénicos en plantas y animales no ha sido lo suficientemente estudiado, desconociéndose los mecanismos por los cuales la actividad humana, los cambios climáticos, el efecto invernadero y otros factores ambientales, están afectando actualmente la capacidad reproductiva de los seres, por lo que se requiere reforzar la investigación científica en este rubro.

Autoevaluación

1. Formas de reproducción de los animales:

a) _____.
b) _____.

2. La capacidad de regeneración de un brazo perdido de una estrella de mar se debe al proceso denominado

a) Esporulación.
b) Gemación.
c) Fragmentación.
d) Bipartición o fisión.

3. Contesta con una V si el enunciado es verdadero y con una F si es falso.

a) La reproducción por gemación produce, al inicio, dos individuos del mismo tamaño. ( )
b) El citoplasma de los espermatozoides contiene abundantes substancias nutritivas. ( )
c) El ácido desoxirribonucleico es la única molécula orgánica capaz de autorreplicarse. ( )
d) Las hidras y las levaduras se reproducen mediante la producción de esporas. ( )
e) La perpetuación de una especie animal se logra cuando sus integrantes pueden reproducirse. ( )
f) Las esporas son buenas propagadoras de la especie porque el viento las puede dispersar. ( )

4. Característica principal que permite diferenciar la reproducción sexual de la asexual.

a) Produce individuos con uniformidad genética.
b) Se requiere que existan gametos femeninos y masculinos.
c) Formación de esporas que al desarrollarse forman un individuo adulto.
d) Solamente produce individuos mediante partenogénesis.

5. La supervivencia de una especie animal está asegurada si sus integrantes cumplen las siguientes condiciones:

a) _____.
b) _____.

6. Célula del parénquima testicular que inicia la meiosis para producir la espermatogénesis.

a) Espermatogonia.
b) Espermatocito de primer orden.
c) Espermátida.
d) Espermatocito de segundo orden.

7. Todos ellos son animales hermafroditas con excepción de:

a) Hidras de agua dulce.
b) Almeja "mercenaria".
c) Lombriz de tierra.
d) Caracoles de jardín.

8. De los siguientes conceptos señala las características que permitan identificar a los ovocitos con una O, y a las correspondientes a los espermatozoides con una E.

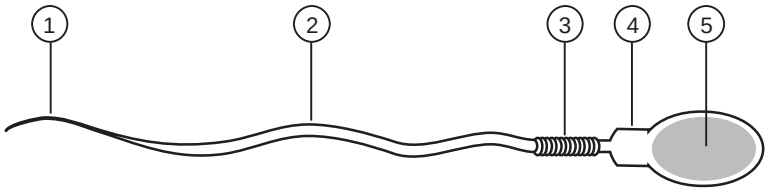
a) Células grandes, esféricas e inmóviles. ( )
b) Carecen de citoplasma con nutrimentos. ( )
c) Su citoplasma almacena abundantes substancias nutritivas. ( )
d) Células microscópicas (miden de 50 a 60 μm de longitud). ( )
e) Células con gran capacidad de movilidad. ( )
f) El tamaño de estas células alcanza más de 200 μm de diámetro. ( )

9. ¿Cuál es la célula germinal femenina que reinicia su crecimiento y desarrollo en el periodo de actividad reproductiva?

a) Ovogonias.
b) Ovocitos de segundo orden.
c) Ovocitos de primer orden.
d) Ovocitos maduros.

10. En el siguiente esquema indica el lugar de localización de abundantes mitocondrias.

a) 4
b) 2
c) 1
d) 3



11. Un cuerpo polar resultante de la primera división meiótica posee principalmente:

a) Abundantes proteínas y lípidos.
b) Ácido desoxirribonucleico.
c) Número diploide de cromosomas.
d) Ácido ribonucleico.

12. El número de ovocitos que contienen los ovarios de una niña recién nacida es de:

a) 4 000
b) 4 000 000
c) 400 000
d) 40 000

13. La porción del ovocito de rana de color _____ se denomina _____ _____, y allí se almacena gran cantidad de vitelo. En cambio en el _____ _____ que muestra un color _____ se sitúa el _____, mitocondrias, ribosomas y centriolos.

14. Correlaciona los conceptos de la columna de la derecha con los de la izquierda.

a) Fecundación externa. ( )
b) Acto sexual (amplexo) de anfibios. ( )
c) Fecundación interna. ( )
d) Acto sexual copulatorio. ( )
e) Ovocitos de ranas, sapos y ajolotes. ( )
f) Cortejo del macho hacia la hembra. ( )

I. Inserción del pene en el aparato genital de la hembra.
II. Propicia la ovoposición o postura del huevo.
III. Abrazo del macho para inseminar cientos de ovocitos.
IV. Cubierta y protección de sustancia gelatinosa.
V. Requiere de medio acuático y miles de ambos gametos.
VI. Requiere de escasos ovocitos y tracto genital húmedo.

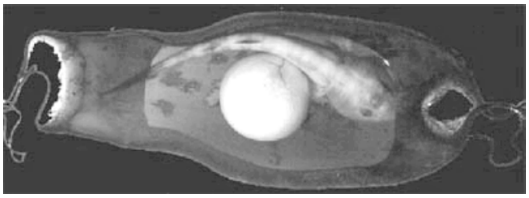
15. Contesta con una V si el enunciado es verdadero y con una F si es falso.

a) Las especies que no cuidan sus embriones deben producir una gran cantidad de gametos. ( )

b) Los peces cartilaginosos han desarrollado mecanismos que impiden la deshidratación osmótica de sus huevecillos. ( )
c) La mayoría de los animales acuáticos poseen ovocitos de tamaño voluminoso (5mm de diámetro). ( )
d) Las especies que cuidan a sus crías aseguran que éstas alcancen la autosuficiencia. ( )
e) La cubierta protectora de los embriones se debe producir antes de la fecundación. ( )
f) Los insectos protegen a los huevos fecundados rodeándolos de una cubierta calcárea. ( )

16. El dibujo representa una estructura que sirve para proteger el embrión de:

a) Ranas.
b) Serpientes.
c) Tiburones.
d) Aves.



17. Componente extraembrionario que pertenece exclusivamente a los mamíferos.

a) Placenta.
b) Amnios.
c) Alantoides.
d) Saco vitelino.

18. Señala la clase animal que posee ovocitos con mayor cantidad de vitelo:

a) Mamíferos.
b) Aves.
c) Anfibios.
d) Peces.

19. ¿Qué tipo de animal posee ovocitos como el que representa la figura?

a) Tiburones.
b) Palomas.
c) Conejos.
d) Ajolotes.

20. Correlaciona los términos de la columna de la derecha con los de la izquierda.

a) Amnios.	( )	I. Almacena sustancias nutritivas: lípidos, carbohidratos y proteínas.
b) Alantoides.	( )	II. Membrana de embriones de aves que facilita el intercambio gaseoso.
c) Placenta.	( )	III. Envoltura llena de líquido que rodea al embrión y lo protege.
d) Saco vitelino.	( )	IV. Estructura que sirve de comunicación entre la placenta y el embrión.
e) Cordón umbilical.	( )	V. Órgano que permite el intercambio de nutrimentos entre la madre y el embrión.
f) Corión.	( )	VI. Anexo embrionario que sirve para almacenar desechos urinarios y digestivos.

21. Capacidad que tienen los seres vivos de producir otros seres que son esencialmente iguales a ellos mismos.

a) Reproducción.
b) Duplicación.
c) Recombinación.
d) Apareamiento.

22. Proceso en el que se realiza la unión o fusión de los gametos.

a) Gametogénesis.
b) Fisión.
c) Singamia.
d) Gemación.

Respuestas a los ejercicios

Ej. 1

1. a)

2. d)

3.
a) Fisión o bipartición (división).
b) Gemación.
c) Esporulación.
d) Fragmentación.

4. a) III, b) IV, c) I, d) I, e) IV, f) II, g) III, h) II.

5. b)

6. a)

Ej. 2

1. a) III, b) VIII, c) VI, d) V, e) IV, f) II, g) I.

2. d)

3. a)

4. c)

5. a) F , b) V, c) V, d) V, e) F, f) F.

6. c)

Ej. 3

1. b)

2. 400 000 / profase / primera / meiótica.

3. d)

4. b)

5. a) F, b) V, c) V, d) F, e) V.

6.
a) El núcleo, cromosomas o ADN.
b) Mitocondrias
c) Ácido ribonucleico o ribosomas.
d) Centriolos.
e) Vitelo.
f) Proteínas.
g) Lípidos o grasas.
h) Glúcidos o hidratos de carbono.

Ej. 4

1. a) II, b) I, c) IV, d) V, e) III.

2.
a) Locomoción eficiente de los espermatozoides.
b) Existencia de un ambiente húmedo.

3. c)

Ej. 5

1.
a) En estuches impermeables y resistentes.
b) Retener el embrión en desarrollo dentro del cuerpo materno.

2. a) III, b) I, c) IV, d) II, e)V.

3. a)

4. d)

5.
a) Saco vitelino.
b) Amnios.

c) Corion.
d) Alantoides.
e) Placenta.
f) Cordón umbilical.

Respuestas a la autoevaluación

1.
a) Asexual.
b) Sexual.

2. c)

3. a) F, b) F, c) V, d) F, e) V, f) V.

4. b)

5.
a) Transmisión de sus características genéticas a sus descendientes.
b) Sus miembros individuales tengan la capacidad de reproducirse.

6. b)

7. a)

8. a) O, b) E, c) O, d) E, e) E, f) O.

9. c)

10. d)

11. b)

12. c)

13. Blanquecino grisáceo / polo vegetal / polo animal / negro / núcleo.

14. a) V, b) III, c) VI, d) I, e) IV, f) II.

15. a)V, b) V, c) F, d) V, e) F, f) F.

16. c)

17. a)

18. b)

19. d)

20. a) III, b) VI, c) V, d) I, e) IV, f) II.

21. a)

22. c)

Protocolo de experiencias prácticas de aprendizaje

Práctica de laboratorio: Características microscópicas de los órganos de la reproducción. ¿Cómo se protegen los embriones de las aves?

Objetivos:

- Describirás los métodos utilizados en la reproducción sexual.
- Describirás los procesos de gametogénesis: espermatogénesis y ovogénesis.
- Comprenderás los procesos de fecundación y formación del embrión.
- Explicarás los mecanismos y cuidados del embrión.
- Identificarás las generalidades del desarrollo de embriones acuáticos y terrestres.
- Reconocerás las envolturas que protegen al embrión de aves.

Presentación:

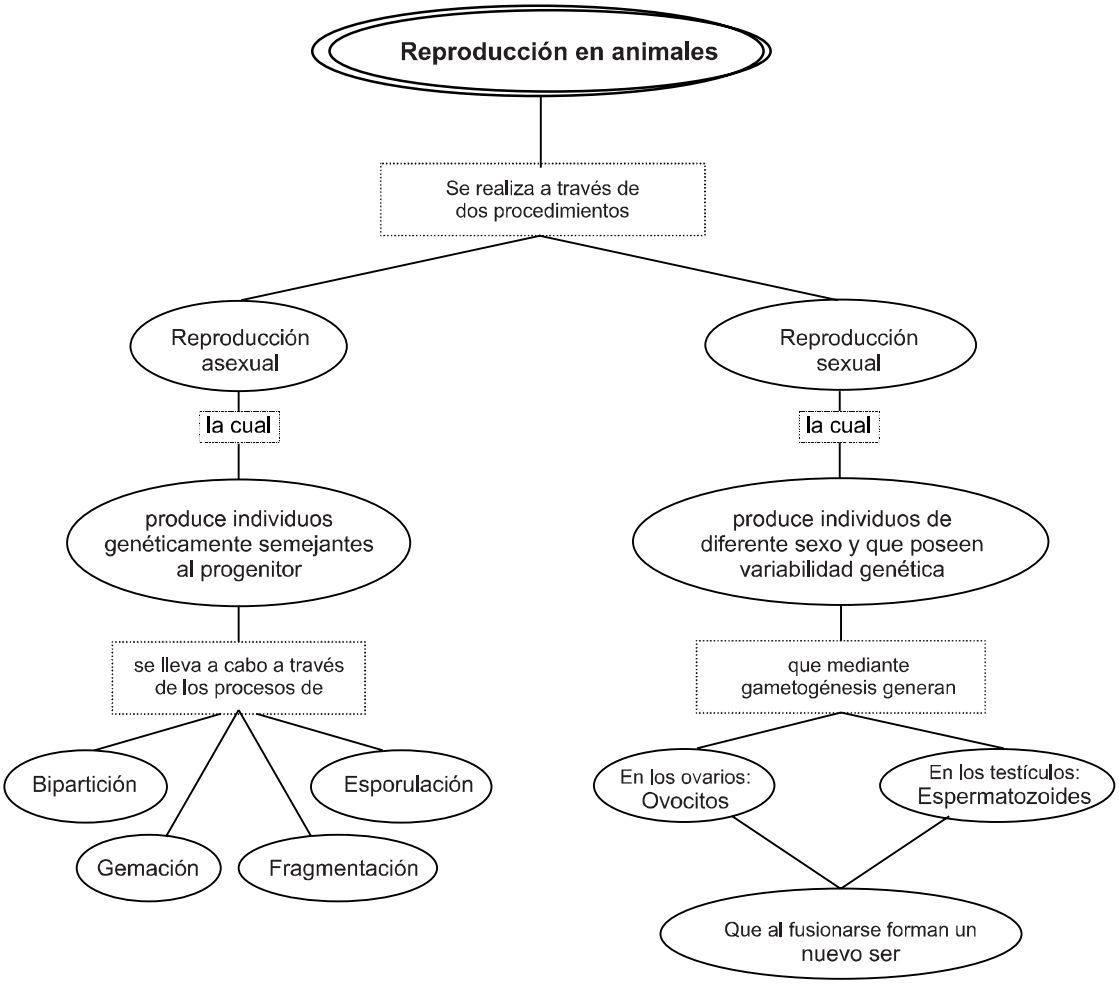
Para la unidad 5 de Biología 2, relacionada con la reproducción en animales, se ha considerado conveniente realizar experiencias prácticas sencillas que deberán efectuarse como prácticas de laboratorio.

Una de ellas es observar, a través de un microscopio, secciones histológicas de testículo y ovario de mamífero o mediante una serie de diapositivas, la génesis y formación de espermatozoides y ovocitos; células germinales masculinas y femeninas que al unirse originan un huevo o cigoto que, por sucesivas divisiones celulares mitóticas y mediante el desarrollo, crecimiento y diferenciación celular se transformará en un individuo con características genotípicas y fenotípicas (morfológicas y funcionales) similares a las de sus progenitores, pero que adquiere, a su vez, cierta diversidad genética.

La otra experiencia práctica sencilla es llevar a la clase dos huevos de gallina, uno de ellos crudo y el otro cocido, con la finalidad que ratificar y comprobar las envolturas de protección, orgánicas e inorgánicas, que utilizan ciertos animales terrestres para proteger contra la desecación al ovocito fecundado y a la vez proporcionarle al futuro ser las sustancias nutritivas para su posterior desarrollo y crecimiento.

Revisión de conceptos claves:

A continuación te mostramos un mapa conceptual que resume algunos conceptos de lo estudiado durante la unidad 5.



Recuerda que los conceptos antes mencionados están contenidos en los siguientes apartados:

- Generalidades (reproducción asexual y sexual).
- Gametogénesis.
- Espermatogénesis.
- Ovogénesis.
- La fecundación y el desarrollo del embrión.
- Embriones acuáticos y terrestres.

Lo anterior podrás repasarlo en la unidad 5 de tu libro didáctico de Biología 2.

Formulación de la hipótesis de trabajo:

Revisa los procedimientos que vas a realizar para desarrollar esta experiencia práctica. Predice qué puede suceder y plantea algunos supuestos como hipótesis de trabajo, por ejemplo:

- ✓ "Durante la ovogénesis en mamíferos se generan pocos ovocitos maduros".
- ✓ "La cantidad de espermatozoides que se forman en los testículos alcanzan cifras que superan el millón de ellos".
- ✓ "Los ovocitos maduros no experimentan ningún cambio morfológico durante la ovogénesis".
- ✓ "En los espermatozoides se producen cambios morfológicos notables durante la espermatogénesis".
- ✓ "Los embriones de aves se desarrollan dentro de un ambiente húmedo donde existen sustancias nutritivas y cubiertas blandas y duras que los protegen del medio externo".

Desarrollo de la práctica:

Materiales a emplear:

Experiencia 1:

- ❖ Preparaciones histológicas de testículo de mamífero.
- ❖ Preparaciones histológicas de ovario de mamífero.
- ❖ Serie de diapositivas relacionadas con las imágenes de parénquima testicular y ovárico en donde se muestren secuencias de la espermatogénesis y la ovogénesis.

Experiencia 2:

- ❖ Un huevo de gallina crudo.
- ❖ Un huevo de gallina cocido (en ebullición durante 5 a 7 minutos).
- ❖ Un cuchillo afilado o una navaja de afeitar.
- ❖ Dos recipientes (pueden ser platos de plástico pequeños).

Procedimiento.

Para la experiencia 1:

1. A través del microscopio observar las preparaciones histológicas de testículo y ovario de mamíferos y reconocer, en ellas, las diferentes etapas por las que discurren las células germinales primitivas para transformarse en espermatozoides y en ovocitos maduros respectivamente.
2. La proyección y observación de la serie de diapositivas que muestran imágenes de la espermatogénesis y ovogénesis.

Para la experiencia 2:

1. Romper cuidadosamente el cascarón del huevo crudo y depositar el contenido en uno de los platos sin que se rompa la yema.

2. Examinar la composición del huevo: yema y clara y diferenciar el ovocito de la envoltura nutritiva.
3. A continuación observar cómo está constituido el cascarón.
4. Romper cuidadosamente el cascarón de huevo cocido y separar el cascaron del resto del contenido.
5. Examinar la composición del cascarón.
6. A continuación, con el cuchillo o la navaja de afeitar, cortar por la mitad el huevo cocido y examinar qué elementos forman parte de él.

Autoevaluación:

¿Qué diferencias puedes establecer entre la espermatogénesis y la ovogénesis?
¿Cuáles son las fases de la espermatogénesis y qué características morfológicas y cromosómicas posee cada una de ellas?
¿Cómo está constituido un espermatozoide?
¿Cuáles son las estructuras que acompañan a los ovocitos maduros después de la ovulación?
¿Por qué los gametos deben poseer la mitad de los cromosomas que tienen las células del organismo?
¿Qué diferencias y semejanzas existen entre el desarrollo embriológico de los mamíferos, aves y peces?
¿Cuáles son las membranas o capas que protegen a los embriones de aves y mamíferos? ¿Qué diferencias existen entre ellos y qué ventajas tiene cada una de ellas?

Conclusiones:

Al finalizar la presente experiencia, ¿fue posible corroborar tus hipótesis planteadas? ¿Consideras que debes modificarlas? Anota tus conclusiones.

_____

_____

_____

_____