# 1 La reproducción asexual y sexual

**Figura 11.2.** El mimetismo es una adaptación que permite al insecto hoja sobrevivir y dejar descendencia.

**Figura 11.4.** Las anémonas son pólipos que se reproducen por escisión.

Las branquias de los peces, las barbas de las ballenas, el axón gigante de los calamares y las glándulas adrenales de los mamíferos son adaptaciones que ayudan a estos animales a sobrevivir el tiempo suficiente y reunir los recursos necesarios para reproducirse. Producir crías es la razón por la que tienen lugar todas las adaptaciones (Fig. 11.2). La evolución por selección natural nos da una explicación del porqué los animales se reproducen, pero ¿cómo lo hacen?

La reproducción sexual es un rasgo casi universal de los animales, aunque muchas especies también se reproducen de forma asexual.

## 1.1. ¿Cómo se realiza la reproducción asexual?

En muchas especies animales, los individuos pueden clonarse, es decir, pueden producir copias idénticas de sí mismos de forma asexual, y en grandes cantidades. Puede realizarse de diferentes modos:

- **Gemación.** En algunos animales, como las esponjas y los pólipos, un grupo de células del cuerpo del progenitor se divide por mitosis y forma una yema, o brote, de la que se origina una cría (Fig. 11.3). En unos casos, la yema se desprende del progenitor y se establece como individuo independiente; en otros, permanece adherida al organismo materno y se convierte en un nuevo miembro, más o menos independiente, de una colonia.

**Figura 11.3.** Hidra de agua dulce con una yema.

- **Escisión** o **fragmentación**. Consiste en la rotura espontánea del organismo progenitor en dos o más fragmentos, cada uno de los cuales dará lugar a un individuo completo. Así ocurre en algunos animales de organización sencilla como las anémonas de mar (Fig. 11.4) o algunos gusanos marinos.

Algunos animales son capaces de volver a formar las partes perdidas como consecuencia de una lesión. Salamandras, lagartijas, estrellas de mar y cangrejos pueden adquirir una nueva cola, pata, brazo o algunos otros órganos cuando han perdido el original. En estos casos se habla de **regeneración** y no se considera un mecanismo de reproducción. Aun así, la capacidad de regeneración puede llegar a ser extrema en algunos casos: unos pocos segmentos de lombriz o un solo brazo de una estrella pueden regenerar el animal completo.

**RELACIONAR**

**4. Un ciclo vital con alternancia**

Los machos y las hembras de la medusa común (*Aurelia aurita*) vierten los gametos al medio. Allí se fecundan y originan larvas móviles que se fijan al sustrato y dan origen a pólipos. Los pólipos maduros se dividen en discos superpuestos que se van liberando y se transforman en nuevas medusas.

a) ¿Por qué se califica como alternante el ciclo vital de la medusa *Aurelia*?

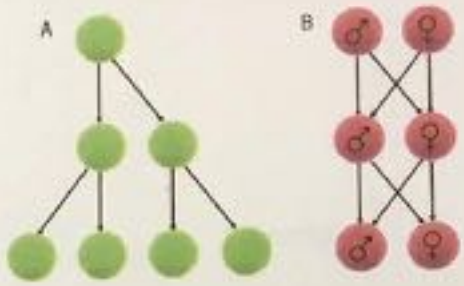
b) ¿Qué ventajas tiene este ciclo vital en comparación con el de sus parientes, los corales de astas de alce?

c) Compara este ciclo biológico con el de los helechos (véase página 179). ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian?

## 1.2. Mecanismo de reproducción sexual

### El doble coste del sexo

En la imagen aparece la evolución de dos poblaciones: una con reproducción asexual (A) y otra sexual (B), en las que suponemos que las hembras dan lugar a solo dos descendientes. La consecuencia es que mientras en el primer caso la población se duplica en cada generación, en el segundo caso la población permanece con un tamaño constante.




La eficiencia de la reproducción asexual es evidente: no es necesario crear machos y una hembra produce el doble de hijas. Además, en la reproducción sexual la búsqueda de pareja y los riesgos asociados al apareamiento (exposición a depredadores, enfermedades de transmisión sexual, etc.) suponen un coste adicional.

En la reproducción sexual intervienen los siguientes procesos:

- **Formación de gametos**, es decir, de células especializadas que son el vehículo de transporte de la información genética de los progenitores. Los gametos (espermatozoides y óvulos) son células haploides ($n$) que se originan por meiosis.
- **Formación del cigoto** mediante la unión de los gametos y la fusión de sus núcleos. De este modo, se restaura el número de cromosomas característico de la especie.
- **Desarrollo del cigoto.** El cigoto se divide por mitosis de acuerdo con las instrucciones genéticas y origina un individuo con caracteres de ambos progenitores.

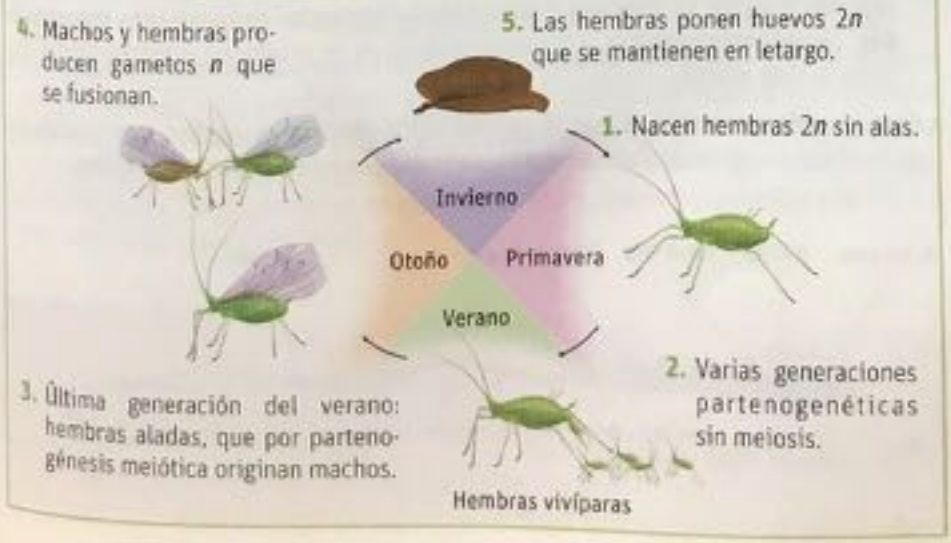
## 1.3. La partenogénesis

En algunas especies animales, las hembras producen huevos que se desarrollan sin haber sido fecundados. Esta forma de reproducción se denomina **partenogénesis**, y sucede en algunas especies de insectos, crustáceos, peces, reptiles e incluso aves.

Por su frecuencia en el ciclo biológico de la especie puede ser:

- **Partenogénesis obligatoria.** Los óvulos se desarrollan normalmente por partenogénesis, aunque, en condiciones adversas, puede intercalarse una generación con reproducción sexual. Así sucede, por ejemplo, en los pulgones.
- **Partenogénesis accidental.** La reproducción normal es sexual y presentan partenogénesis en un momento dado. Sucede en el tiburón martillo, en ausencia de machos.
- **Partenogénesis facultativa.** Los óvulos pueden desarrollarse con fecundación (nacen hembras) o sin ella (nacen machos), como sucede en las abejas.

### CICLO BIOLÓGICO DE LOS PULGONES




### ACTIVIDADES

5. Si tantas ventajas tiene la reproducción asexual, ¿por qué casi todos los animales se reproducen, al menos ocasionalmente, de forma sexual?

6. La partenogénesis, ¿es un tipo de reproducción sexual o asexual? ¿Por qué?

# 2 La formación de los gametos

La **gametogénesis**, o formación de los gametos, tiene lugar en los órganos reproductores o **gónadas** de los individuos adultos. En las gónadas femeninas u **ovarios** se forman los **óvulos** y en las masculinas o **testículos**, los **espermatozoides**.

## 2.1. Ovogénesis y espermatogénesis

Las divisiones celulares mitóticas y meióticas y los procesos de desarrollo que se suceden en la gametogénesis se pueden resumir, en el caso de los seres humanos, en las siguientes fases (Fig. 11.5):

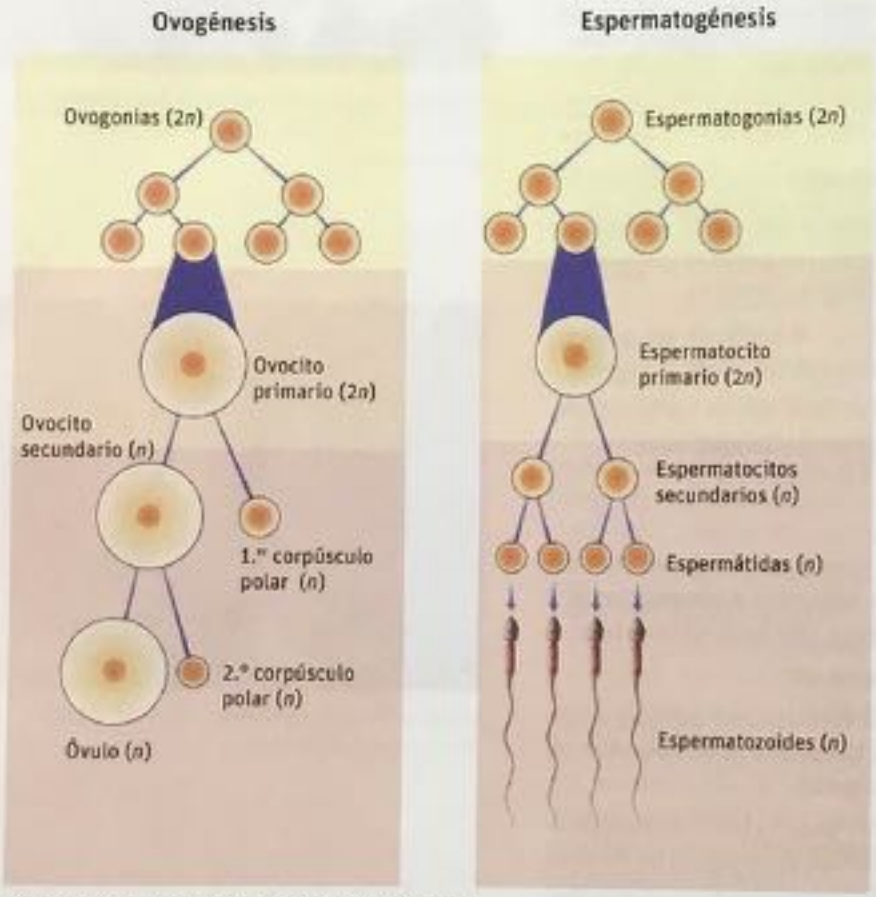
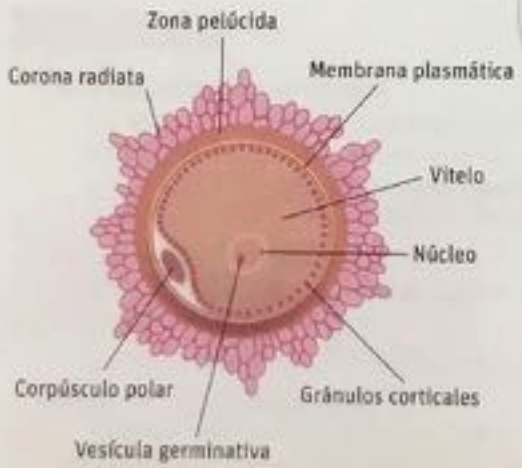



**Figura 11.5.** Gametogénesis en los seres humanos.

- **Fase de multiplicación.** En las gónadas femeninas y masculinas, las células diploides conocidas, respectivamente, como **ovogonias** (u **oogonias**) y **espermatogonias** se multiplican por mitosis. Solo algunas de las células hijas inician el proceso de formación de los gametos.
- **Fase de crecimiento.** Algunas ovogonias y espermatogonias crecen y se transforman en **ovocitos** (u **oocitos**) **primarios** y **espermatocitos primarios**, todavía diploides.
- **Fase meiótica.** Los ovocitos y espermatocitos primarios entran en meiosis:
  - En las mujeres, solo uno de los productos haploides resultantes de la meiosis de un ovocito primario se convierte en un **ovocito secundario**, madura y da lugar a un óvulo. Las otras células, llamadas **corpúsculos polares**, poseen una cantidad muy pequeña de citoplasma y no originan óvulos.

    En la mayoría de las especies, la producción de ovocitos primarios cesa muy pronto (en los seres humanos, antes del nacimiento). Los ovocitos primarios entran en la profase de la meiosis durante el desarrollo embrionario y quedan detenidos durante meses o años. En las mujeres, a partir de la pubertad y de forma periódica, un ovocito primario completa su transformación en un óvulo.
  - En los hombres, los espermatocitos primarios completan la primera división de la meiosis y producen, cada uno de ellos, dos **espermatocitos secundarios**. Tras la segunda división se obtienen cuatro células haploides denominadas **espermátidas**. Las espermatogonias y los espermatocitos se producen continuamente durante la vida adulta.
- **Fase de diferenciación.** El óvulo apenas sufre modificaciones; en cambio, las espermátidas cambian profundamente y se transforman en **espermatozoides**.



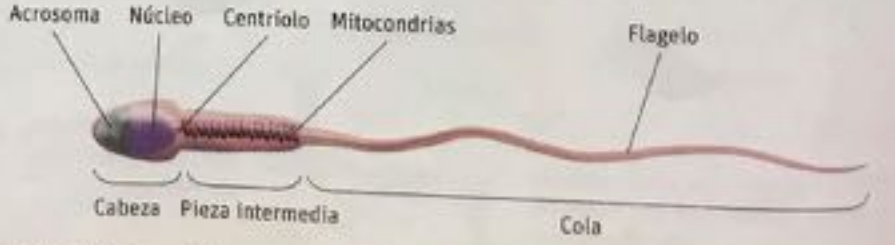




**Figura 11.6.** Gametos del ser humano: óvulo y espermatozoide. El diámetro del óvulo es unas tres veces la longitud del espermatozoide.

# 3 La fecundación

La **fecundación** es el proceso de fusión de un espermatozoide y un óvulo para formar una célula diploide conocida como **cigoto**.

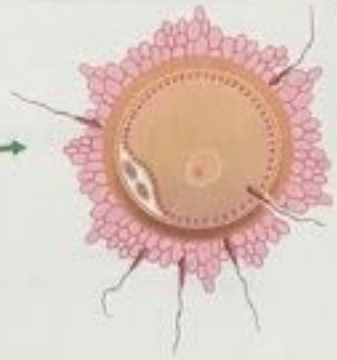
smSaviadigital.com OBSERVA
La fecundación en los mamíferos.

## 3.1. El mecanismo de la fecundación

Para que se produzca la fecundación, un espermatozoide y un óvulo tienen que coincidir, reconocerse como pertenecientes a la misma especie y unirse. Esa unión desencadena el inicio del desarrollo.

### ETAPAS DE LA FECUNDACIÓN

1. El espermatozoide atraviesa la corona radiada y perfora la zona pelúcida gracias a las enzimas contenidas en el acrosoma (**reacción acrosómica**). De este modo, entra en contacto con la membrana plasmática del óvulo.



2. Las membranas de ambos gametos se fusionan. La cabeza del espermatozoide, con el núcleo y el centríolo, penetra en el óvulo.

3. El óvulo se activa y segrega al exterior el contenido enzimático de los granos corticales; se forma así la **membrana de fecundación** (en amarillo), que evita la fecundación por otros espermatozoides.

4. Dentro del óvulo, el núcleo espermático (**pronúcleo masculino**) y el núcleo del óvulo (**pronúcleo femenino**) se fusionan (**cariogamia**) y forman el núcleo 2*n* del cigoto.

## 3.2. Tipos de fecundación

Según el lugar donde ocurra, se distinguen dos tipos de fecundación:

- **Fecundación externa.** Es frecuente en animales acuáticos (con las excepciones del pulpo, algunos peces y los mamíferos acuáticos). Los óvulos sin fecundar son expulsados por la hembra y, posteriormente, el macho libera los espermatozoides que fecundarán a dichos óvulos en el medio acuoso exterior (Fig. 11.7).
- **Fecundación interna.** Es característica de los animales terrestres. Para ello, es necesario el apareamiento entre macho y hembra. Los machos de muchos invertebrados, reptiles, aves y todos los mamíferos poseen un órgano copulador para introducir los espermatozoides en las vías genitales femeninas donde tiene lugar la fecundación. Otras especies liberan paquetes de espermatozoides, denominados **espermatóforos**, que son transferidos a las hembras.

**Figura 11.7.** Fecundación externa de la trucha.

### ACTIVIDADES

7. ¿Qué función puede desempeñar el vitelo o yema del óvulo?
8. ¿Cómo se evita la fecundación de un óvulo por más de un espermatozoide (polispermia)?
9. Explica por qué no existe fecundación externa en los vertebrados terrestres.

# 4 Los sistemas reproductores

Los **sistemas reproductores** tienen por misión la formación de las células reproductoras o **gametos**. En los animales con fecundación interna deben garantizar, además, la unión entre los gametos procedentes de organismos diferentes.

En la mayoría de los animales, los sistemas reproductores están constituidos por los siguientes órganos sexuales:

- **Primarios o gónadas.** Allí se forman los gametos y se producen las hormonas sexuales. Las gónadas masculinas se denominan **testículos** y las femeninas, **ovarios**.
- **Accesorios.** Ayudan a las gónadas en los procesos de formación y liberación de los gametos y, en muchos casos, también sirven para dar acogida y protección al embrión. Pueden ser muy variados y entre ellos se encuentran las vías genitales, los órganos copuladores, los órganos dedicados a almacenar espermatozoides o a formar cubiertas protectoras para los huevos, etc.

## 4.1. El sistema reproductor de los vertebrados

En los vertebrados –en particular, en los machos–, el sistema genital está estrechamente relacionado con el excretor: tienen un mismo conducto de salida al exterior. Excepto en la mayoría de los mamíferos, los conductos genital y excretor y el intestino desembocan en una cámara común, llamada **cloaca**, que comunica con el exterior.

**Figura 11.8.** Sistema reproductor femenino.

**Figura 11.9.** Sistema reproductor masculino.

**INTERPRETAR**

**10. La formación de un huevo de gallina**

El dibujo representa el sistema reproductor de una hembra de ave.

**a)** Localiza la cloaca y nombra los conductos que desembocan en ella.

**b)** En las aves, de las dos ramas del sistema reproductor solo una es funcional. Localiza la rama vestigial en el dibujo.

**c)** ¿Un huevo de gallina es un óvulo o un cigoto? Razona tu respuesta.

## 4.2. El sistema reproductor de los invertebrados

En algunos invertebrados de vida acuática, como las medusas o ciertos anélidos, las gónadas son los únicos órganos sexuales (Fig. 11.10). Los gametos son liberados al medio externo tras la rotura de las paredes del propio organismo.

Sin embargo, en la mayoría de los invertebrados el sistema reproductor es más complejo y dispone de estructuras con función similar a las que aparecen en los vertebrados. En algunos casos, como en muchos artrópodos terrestres, las hembras disponen, además, de un **receptáculo seminal** o **espermateca** al que emigran los espermatozoides tras la cópula. Allí quedan almacenados y se liberan a medida que la hembra expulsa sus óvulos.

**Figura 11.10.** Las cuatro masas que se transparentan son las gónadas de la medusa.

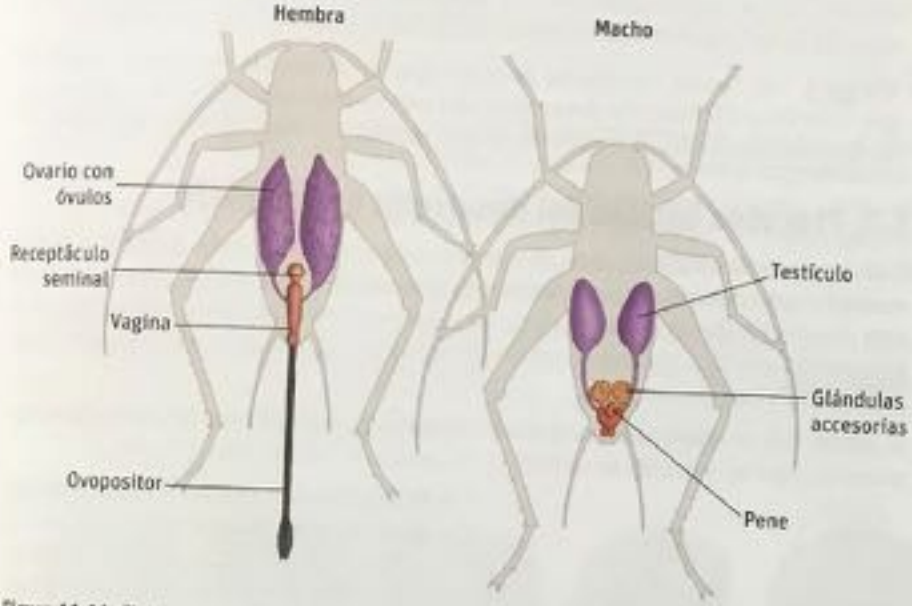



**Figura 11.11.** Sistema reproductor de un insecto.

## 4.3. Unisexualidad y hermafroditismo

La mayoría de las especies animales son **unisexuales** o **dioicas**. Los sexos están separados en individuos distintos, de forma que existen dos tipos de individuos según posean gónadas femeninas o masculinas. En estos casos, es frecuente el **dimorfismo sexual**, es decir, la diferencia morfológica entre individuos de uno y otro sexo (Fig. 11.12).

En las especies **hermafroditas** o **monoicas**, los individuos son portadores de ambos tipos de gónadas y producen los dos tipos de gametos. Así ocurre en algunas especies de anélidos y moluscos. En los animales hermafroditas, los gametos se forman en órganos sexuales llamados **ovotestis**.

El hermafroditismo es frecuente en organismos que viven fijos o son de movimiento lento o que, como ocurre con algunos parásitos, viven aislados. No obstante, la autofecundación se evita siempre que es posible mediante la fecundación cruzada en la que dos individuos hermafroditas se aparean y se fecundan mutuamente.

**Figura 11.12.** En las aves, el dimorfismo sexual es muy acusado: arriba, pato mandarín macho; abajo, la hembra.

**ACTIVIDADES**

11. ¿Cuál es la función esencial del sistema reproductor en todos los seres vivos?
12. ¿Por qué razón en muchos insectos es suficiente con que la hembra sea fecundada una sola vez en su vida?
13. Elabora una hipótesis para explicar el valor adaptativo del dimorfismo sexual.

# 5 El desarrollo embrionario

**Figura 11.13.** La mayoría de los peces son ovíparos.

El **desarrollo embrionario** es el proceso por el cual se forma un nuevo individuo a partir de la célula huevo. El organismo en desarrollo se denomina **embrión**.

## 5.1. ¿Dónde sucede el desarrollo embrionario?

Según el lugar en que se produce el desarrollo embrionario, se distinguen tres tipos de reproducción:

- **Ovípara.** Los óvulos o los huevos ya fecundados son expulsados al medio externo. Esta modalidad se presenta en todos los animales con fecundación externa (Fig. 11.13) y en algunos con fecundación interna, como las aves.
- **Ovovivípara.** Los huevos fecundados se desarrollan dentro del aparato reproductor materno, donde reciben protección y se alimentan del vitelo del propio huevo. Algunas especies de fecundación interna, como ciertos peces y reptiles, son ovovivíparos.
- **Vivípara.** Los huevos fecundados se desarrollan en el aparato reproductor materno, que contribuye a la nutrición del embrión durante su desarrollo. Todos los vivíparos son de fecundación interna, como ciertos peces y reptiles y la mayoría de los mamíferos.

## 5.2. Procesos básicos del desarrollo embrionario

El desarrollo embrionario es como un concierto interpretado por miles de músicos que se mueven en el escenario, a veces cambian de instrumento, pero no equivocan ni una sola nota durante los días que dura la ejecución. La dirección del concierto está a cargo de la información genética, presente en el núcleo del huevo, de donde se lee una partitura escrita con solo cuatro letras.

El patrón que se sigue, la pieza que se interpreta, es muy variable dependiendo de las especies, pero en todas las secuencias de desarrollo se repiten estos procesos:

- **Multiplicación celular y muerte celular programada (apoptosis).** Para que el embrión se desarrolle, sus células tienen que dividirse y fabricar nuevas células. Al mismo tiempo, cuando los tejidos y los órganos toman forma, hay células que deben morir y sufren apoptosis.
- **Movimientos celulares.** Las células del embrión pueden moverse unas entre otras causando importantes cambios de forma. Incluso grupos de células pueden emigrar de un lugar a otro en el embrión, donde originan tipos de células diferentes.
- **Diferenciación celular.** Las células indiferenciadas se especializan en lugares y momentos concretos, de forma escalonada. Las que no se diferencian reciben el nombre de **células madre**.
- **Interacciones intercelulares.** Las células embrionarias se multiplican, se mueven o se diferencian en respuesta a señales que proceden de otras células.

El desarrollo embrionario se divide en tres etapas o fases durante las que se desarrollan procesos del mismo tipo: **segmentación**, **gastrulación** y **organogénesis**.

### En la Web

Sigue las etapas del desarrollo embrionario de una rana.

www.e-sm.net/svbg1bach11_02

### FORMULAR HIPÓTESIS

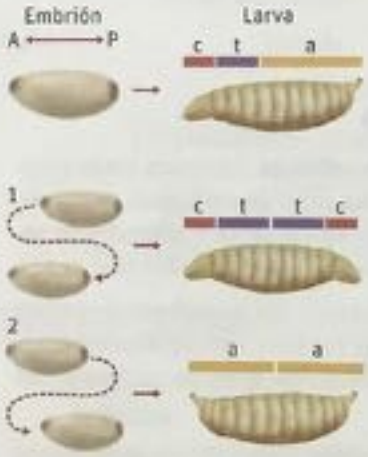
**14. Una sustancia gobierna el patrón**

Un embrión de mosca origina durante su desarrollo una larva normal que presenta las partes características del cuerpo (c: cabeza, t: tórax y a: abdomen) a lo largo del eje antero-posterior.

En una experiencia (1), se trasplantó material de la región anterior (A) de un embrión a la región posterior (P) de otro distinto. El resultado fue una larva con estructuras típicas de la cabeza en sus dos extremos.

a) Propón una hipótesis que explique lo sucedido.

b) Interpreta lo sucedido en la experiencia 2.




### ACTIVIDADES

**15.** ¿Qué significa que la "partitura" que se lee durante el desarrollo embrionario está escrita con solo "cuatro letras"?

## 5.3. La segmentación: multiplicación sin crecimiento

### El caviar del Pacífico Sur

Los adultos del gusano palolo (*Eunice viridis*) viven en cuevas o sobre el fondo oceánico del Pacífico Sur. Los predadores no les permiten abandonar sus escondites en busca de pareja, por lo que para reproducirse sueltan los segmentos posteriores de su cuerpo (zona epítoca) cargados de gametos. Estos fragmentos emigran hacia la superficie del océano donde los gametos se liberan, se produce la fecundación y los huevos, provistos del vitelo necesario, inician su desarrollo.

Pero los habitantes de Samoa y Fiji saben cuándo y dónde se reunirán estos transportadores y los recolectan como alimento. Durante el último cuarto de la luna de noviembre salen a la captura de este "caviar" rico en proteínas, grasas, minerales y vitaminas.

*Eunice viridis*

El desarrollo embrionario se inicia con una serie de rápidas divisiones celulares por mitosis, entre las cuales no hay crecimiento celular. El proceso, denominado **segmentación** o **clivaje**, está muy influido por la cantidad de vitelo y su distribución en el huevo. Los huevos con poco vitelo, como los de los erizos de mar y los de los mamíferos, se dividen por completo, mientras que los que poseen gran cantidad de vitelo, como los de las aves, solo lo hacen parcialmente; la parte en la que se acumula el vitelo permanece sin segmentar.

La segmentación da origen a una masa esférica de células, cada vez más pequeñas, denominada **mórula**. Conforme progresa la segmentación, las células, denominadas **blastómeros**, forman una capa en la superficie del embrión que deja una cavidad en el interior, el **blastocele**. Este estado embrionario recibe el nombre de **blástula** (Fig. 11.14).

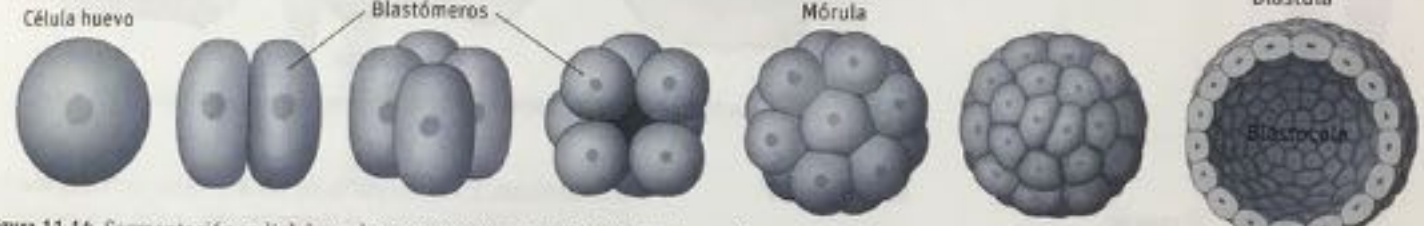



**Figura 11.14.** Segmentación radial de un huevo con escaso vitelo distribuido uniformemente.

En los mamíferos placentarios, como los seres humanos, se forma una blástula especializada, el **blastocito**, con dos grupos diferenciados de células. De ellos se formarán, por un lado, el embrión y, por otro, las complejas estructuras extraembrionarias que se disponen entre el embrión y el útero materno (Fig. 11.15).

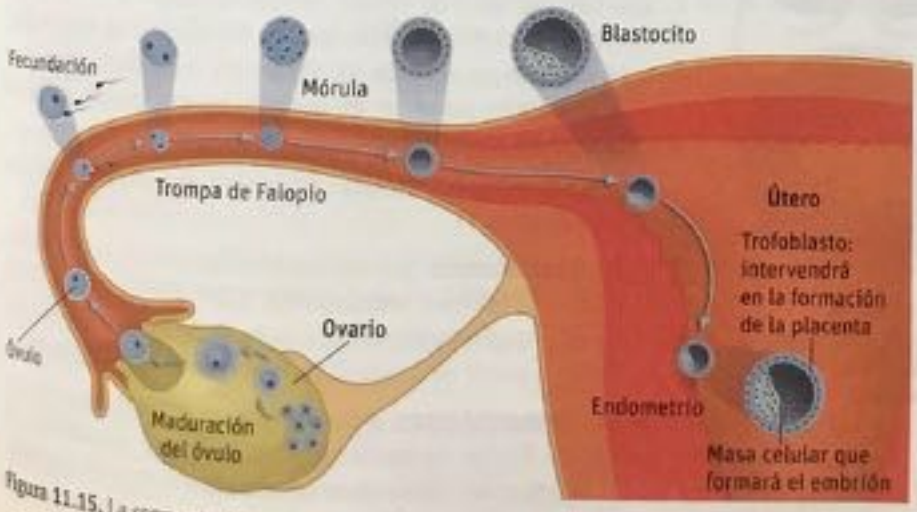



**Figura 11.15.** La segmentación en los humanos sucede antes de la implantación en el útero.

**ACTIVIDADES**

16. ¿Cómo influye la cantidad de nutrientes (vitelo) que lleva un huevo en su segmentación?

17. ¿Qué características especiales tiene la blástula de los mamíferos placentarios? ¿Por qué?

**En la Web**

Observa cómo la blástula se transforma en gástrula.

www.e-sm.net/svbg1bach11_03

## 5.4. La gastrulación: producción de un plan corporal

Durante la **gastrulación**, la multiplicación celular se hace mucho más lenta y deja paso a un nuevo proceso: el movimiento celular. Una serie de movimientos bien organizados reordenan las células embrionarias en una estructura denominada **gástrula**.

En esta etapa se forman las capas de tejido embrionario, o **capas germinativas**, de las que resultarán los tejidos y los órganos del adulto. Además, quedan definidos los ejes principales del cuerpo (anterior-posterior, dorsal-ventral y derecho-izquierdo).

Según el número de capas germinativas de la gástrula, los animales pueden diferenciarse de la siguiente manera:

- **Diblásticos.** Son los animales cuya gástrula posee solo dos capas embrionarias, como las esponjas y los cnidarios. La capa externa de la gástrula se denomina **ectodermo** y la capa más interna, **endodermo**.

  Al inicio de la gastrulación, las células se mueven hacia el hueco (blastocele) de la blástula, de forma similar a cuando se mete un dedo en un globo poco hinchado. La nueva capa, el endodermo, delimita una cavidad, el **arquenterón** o intestino primitivo, que comunica con el exterior por un único orificio o poro de la blástula, el **blastoporo**, que hará en el adulto de boca y de ano (Fig. 11.16).

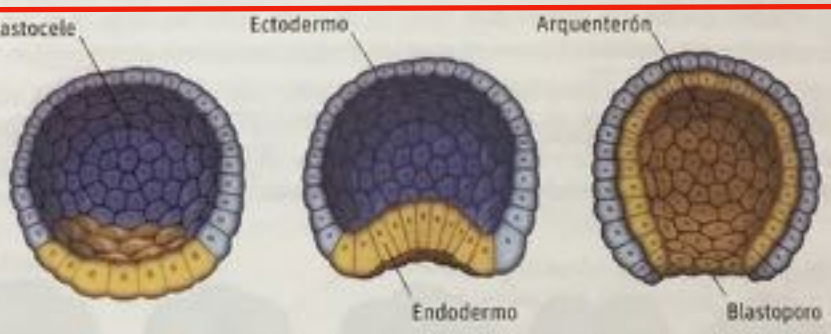



**Figura 11.16.** La formación de la gástrula (sección transversal) en los animales diblásticos.

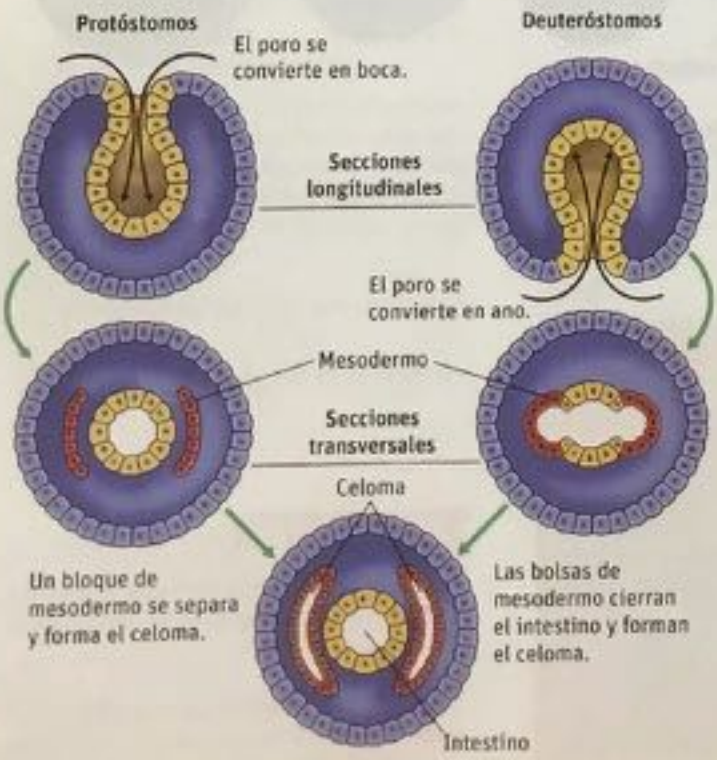



**Figura 11.17.** La formación del mesodermo y el celoma.

- **Triblásticos.** En la mayoría de los animales se forma una tercera capa embrionaria, el **mesodermo**, entre el ectodermo y el endodermo.

  A los animales que alcanzan este estadio durante su desarrollo embrionario se les llama triblásticos, porque presentan tres capas de tejido embrionario.

  En muchos triblásticos, en el interior del mesodermo se forma una cavidad llena de fluidos llamada **celoma** (Fig. 11.17). Esta cavidad crea un contenedor para la circulación de nutrientes, a la vez que un espacio en el que los órganos internos del adulto podrán moverse de manera independiente unos de otros.

  Entre los animales triblásticos existen dos modelos básicos de desarrollo:

  - Los **protóstomos**. Son los anélidos, los moluscos y los artrópodos. El término protóstomos, que significa "la boca primero", hace referencia a que la boca del nuevo individuo se forma a partir del poro, la primera abertura del embrión.
  - Los **deuteróstomos**. Incluyen a los equinodermos y los cordados. En los deuteróstomos o "de boca secundaria", el blastóporo se convierte en el ano y la boca se abre posteriormente en un lugar diferente.

## 5.5. La organogénesis: formación de tejidos y órganos

El desarrollo embrionario se completa con la formación de los órganos a partir de las capas embrionarias. En este proceso, las células embrionarias más o menos uniformes se diferencian y adquieren formas y estructuras específicas adecuadas a la función que van a desempeñar. De esta manera, se forman los tejidos, que se organizan para constituir los órganos en el proceso denominado **organogénesis** (Fig. 11.18). El destino de las hojas embrionarias es el siguiente:

- A partir del **ectodermo** se forman la epidermis de la piel y sus órganos anejos (pelos, plumas, glándulas cutáneas, etc.), el tejido nervioso y las células receptoras de los órganos sensoriales.
- A partir del **endodermo** se originan el revestimiento epitelial del tubo digestivo y respiratorio, las glándulas digestivas y la vejiga urinaria.
- A partir del **mesodermo** se forman la capa dérmica de la piel, el revestimiento de las cavidades internas, el corazón y los demás órganos del aparato circulatorio, los riñones, las gónadas y el sistema esquelético y muscular.

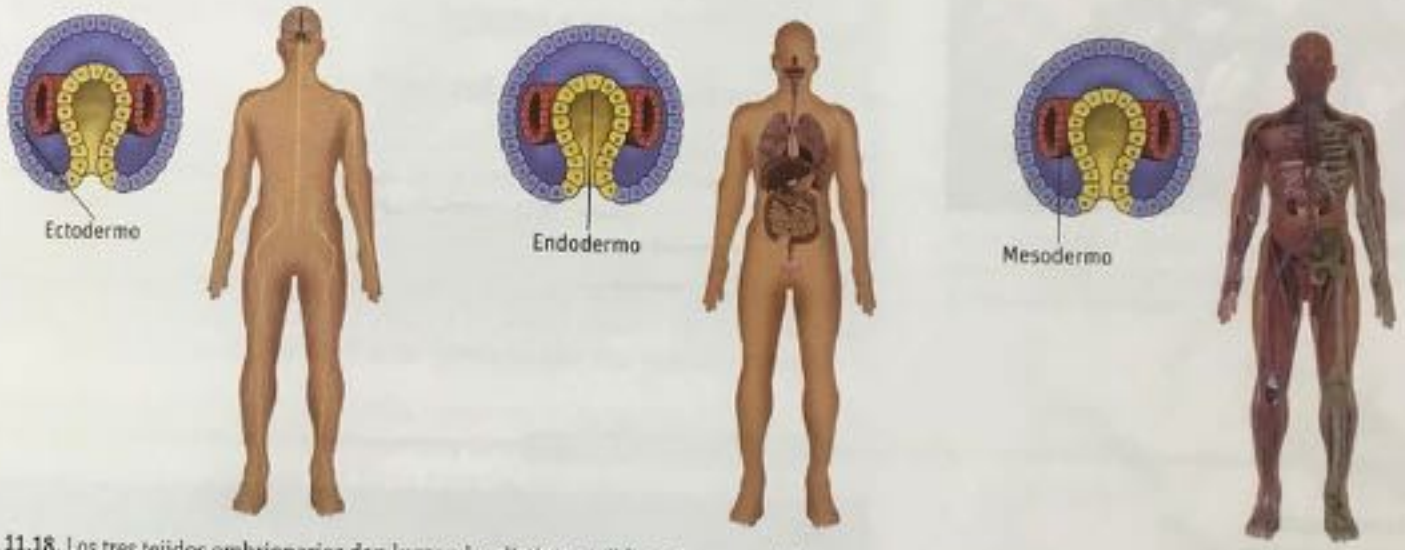



**Figura 11.18.** Los tres tejidos embrionarios dan lugar a los distintos tejidos y órganos adultos.

## 5.6. Las membranas extraembrionarias

El embrión de los reptiles, las aves y los mamíferos está rodeado de varias **membranas extraembrionarias**, que se originan a partir del embrión, pero no son parte de él (Fig. 11.19). Estas membranas se forman con la contribución de todas las capas embrionarias y desempeñan papeles importantes en el desarrollo:

- El **saco vitelino** es la primera membrana embrionaria y se forma a partir del endodermo. Rodea a la masa del vitelo del huevo, cuando existe.
- El **amnios** y el **corion** se forman a parir del mesodermo. El amnios rodea al embrión y secreta un líquido, el **líquido amniótico**, que rellena la cavidad amniótica y proporciona un ambiente acuoso al embrión. El corion es una membrana que envuelve al amnios y al saco vitelino, limita la pérdida de agua del embrión y controla el intercambio gaseoso entre este y el medio externo.
- El **alantoides** se forma a partir del endodermo y crea una bolsa para el almacenamiento de los desechos metabólicos.

En la mayoría de los mamíferos, estas membranas extraembrionarias cumplen una función muy particular ya que, junto con los tejidos de la pared del útero, forman la **placenta**, el órgano responsable de la nutrición del embrión, y el **cordón umbilical**, que une el embrión a la placenta.

**Figura 11.19.** Embrión humano de nueve días con las membranas extraembrionarias.

### ACTIVIDADES

18. En las mujeres, durante el parto se rompe "la bolsa de las aguas". ¿A qué membrana extraembrionaria corresponde?

# 6 El desarrollo posembrionario

**En la Web**

Sigue el ciclo biológico de una sepia.

www.e-sm.net/svbg1bach11_04

El desarrollo posembrionario comienza con el **parto** en los animales vivíparos o con la **eclosión** del huevo en los ovíparos. El nuevo individuo inicia un período de crecimiento que prosigue hasta alcanzar el estado adulto y la madurez reproductora. El desarrollo posembrionario puede ser directo o indirecto:

- El **desarrollo directo** es típico de animales ovíparos con abundantes reservas vitelinas y consiste tan solo en un proceso de crecimiento mediante el cual se alcanza el tamaño del adulto y la madurez sexual. Así ocurre en los reptiles, las aves y los insectos más primitivos. Los mamíferos placentarios, a pesar del escaso vitelo de sus cigotos, presentan un desarrollo directo gracias a que el embrión recibe el alimento de la madre a través de la placenta.
- El **desarrollo indirecto** se produce cuando las reservas vitelinas del huevo son escasas; entonces, el embrión no puede completar el desarrollo en el interior del huevo y da lugar a un organismo juvenil de vida libre. En los casos en que la fase juvenil es bastante diferente del adulto, se denomina **larva** (Fig. 11.20). Las larvas son sexualmente inmaduras, es decir, sus órganos reproductores no están desarrollados y no pueden engendrar. Los adultos son la etapa reproductora de su ciclo vital. La transformación del organismo juvenil en el adulto se realiza mediante una serie de cambios que constituyen la **metamorfosis** ('cambio de forma').

**Figura 11.20.** En los animales sedentarios, como los percebes, las larvas móviles colaboran en la dispersión de la especie.

## 6.1. La metamorfosis en los anfibios

Las ranas, los sapos y las salamandras reciben el nombre de anfibios ('doble vida') porque los individuos jóvenes viven en el agua y los adultos en tierra. El proceso de transformación que sigue el **renacuajo** (la larva) acuático para convertirse en el adulto terrestre y madurar sexualmente es un ejemplo de metamorfosis.

La metamorfosis de los anfibios es un proceso continuo y gradual en el que el renacuajo se mantiene en todo momento activo y alimentándose. El grupo de anfibios en el que estos cambios son más evidentes es el formado por sapos y ranas.

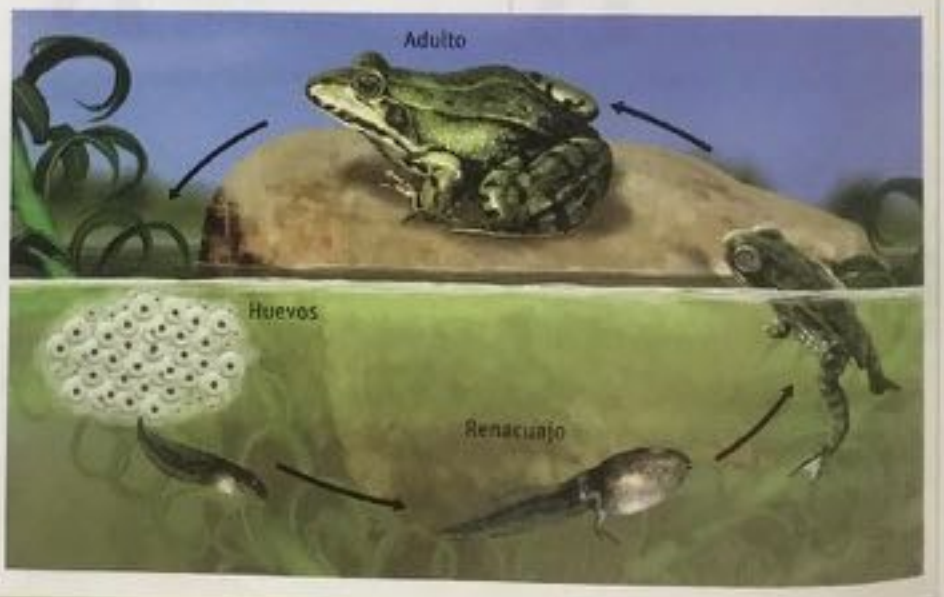
### CICLO DE LA RANA

**Ranas adultas**

- De vida terrestre.
- No tienen cola. Se desplazan caminando o saltando.
- Respiran a través de la piel y mediante pulmones.
- Son carnívoras y presentan un intestino corto.
- Excretan urea.

**Renacuajos**

- De vida acuática.
- Se desplazan nadando mediante movimientos de la cola.
- Respiran por branquias, por la piel y mediante pulmones.
- Son herbívoros y su intestino es largo.
- Excretan amoniaco.




### ACTIVIDADES

19. ¿Qué ventajas evolutivas supone la fase larvaria en el ciclo vital de un animal?

20. Justifica los cambios experimentados por el renacuajo durante la metamorfosis.

## 6.2. La metamorfosis en los insectos

La metamorfosis es frecuente en invertebrados como los anélidos, moluscos, equinodermos y muchos artrópodos. En los insectos tiene lugar de dos formas básicas:

- **Metamorfosis hemimetabólica** ('medio cambio') o **incompleta**. La forma juvenil es como una versión en miniatura del adulto y se denomina **ninfa**. La ninfa cambia gradualmente de forma hasta transformarse en el adulto y permanece activa y alimentándose durante todo el proceso. Los cambios coinciden con cada desprendimiento (**muda**) de la dura cubierta externa. Los saltamontes o las libélulas tienen metamorfosis incompleta (Fig. 11.21).

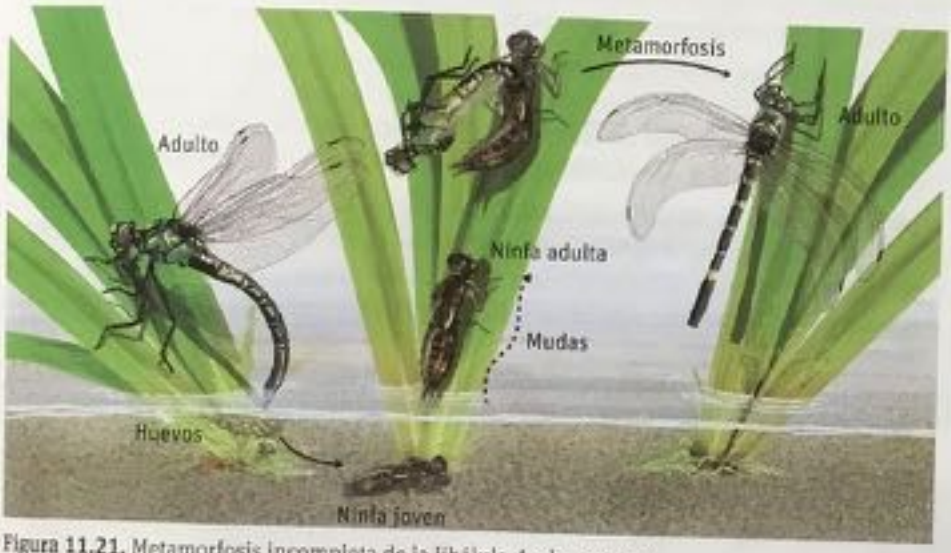



**Figura 11.21.** Metamorfosis incompleta de la libélula *Aeshna cyanea*.

- **Metamorfosis holometabólica** ('cambio completo') o **completa**. La forma juvenil es una larva, sustancialmente diferente de la forma adulta. Si la larva tiene forma de gusano se denomina **oruga**. La larva experimenta una serie de mudas hasta alcanzar su máximo desarrollo. Llegado a este punto, deja de alimentarse y moverse y segrega una funda protectora transformándose en una **pupa** o **crisálida**. En esta fase se produce una remodelación completa de la larva que se transforma en un individuo adulto. Es el tipo de metamorfosis más frecuente en los insectos (Fig. 11.22).

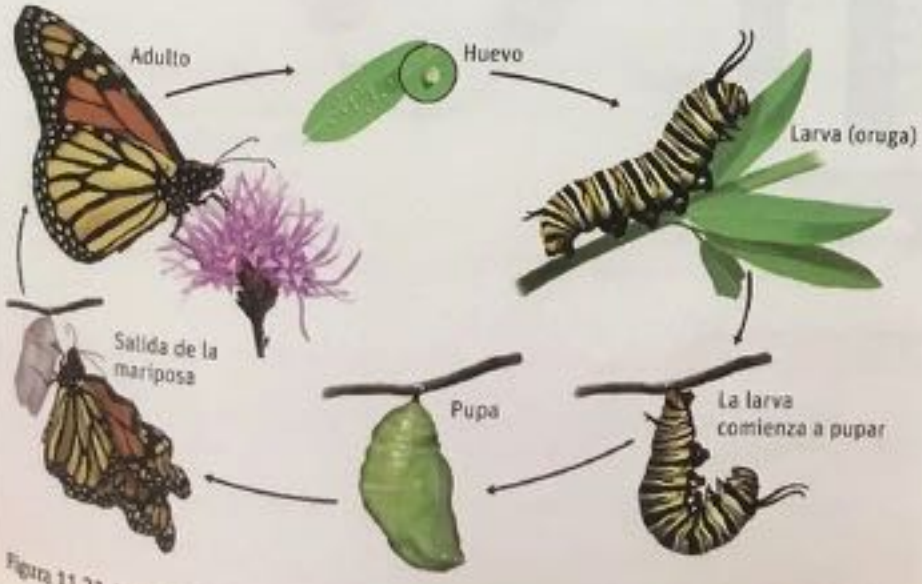
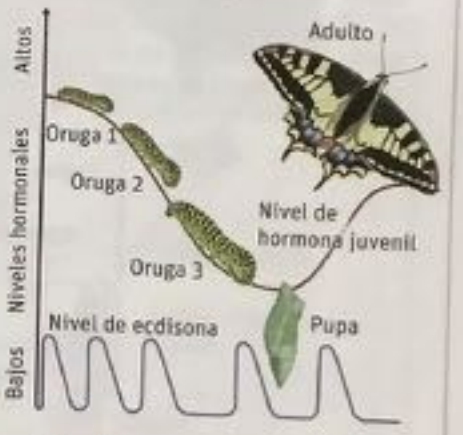



**Figura 11.22.** Metamorfosis completa de la mariposa monarca (*Danous plexippus*).

### INTERPRETAR GRÁFICAS

**21. Control hormonal de la metamorfosis**

En los insectos, los procesos de muda y metamorfosis están controlados por dos hormonas de acciones antagónicas: la hormona juvenil y la ecdisona.




a) Describe las curvas de la gráfica.

b) ¿Qué condiciones deben darse para que se produzca una muda?

c) ¿Qué condiciones requiere la larva para transformarse en pupa?

c) Elabora una hipótesis para explicar la voracidad de las orugas de las mariposas, que a menudo las hace convertirse en plagas.

### ACTIVIDADES

**22.** ¿Qué diferencia hay entre una ninfa y una larva? ¿Y entre una metamorfosis completa y una incompleta?

# 7 La intervención humana en la reproducción animal

Desde el inicio de la domesticación, el objetivo de la especie humana ha sido sacar el máximo provecho del resto de seres vivos y, en particular, de los animales. Ha obtenido nuevas razas seleccionando los caracteres más provechosos, ha hecho extensiva su cría (piscifactorías, estabulación, etc.), ha variado su ciclo de reproducción, etc.

En la actualidad el objetivo se mantiene, pero las técnicas que se utilizan son cada vez más sofisticadas como, por ejemplo la fecundación *in vitro*, la transferencia de embriones, la transgénesis o la clonación.

**En la Web**

Observa cómo se lleva a cabo la punción folicular en humanos.

www.e-sm.net/svbg1bach11_05

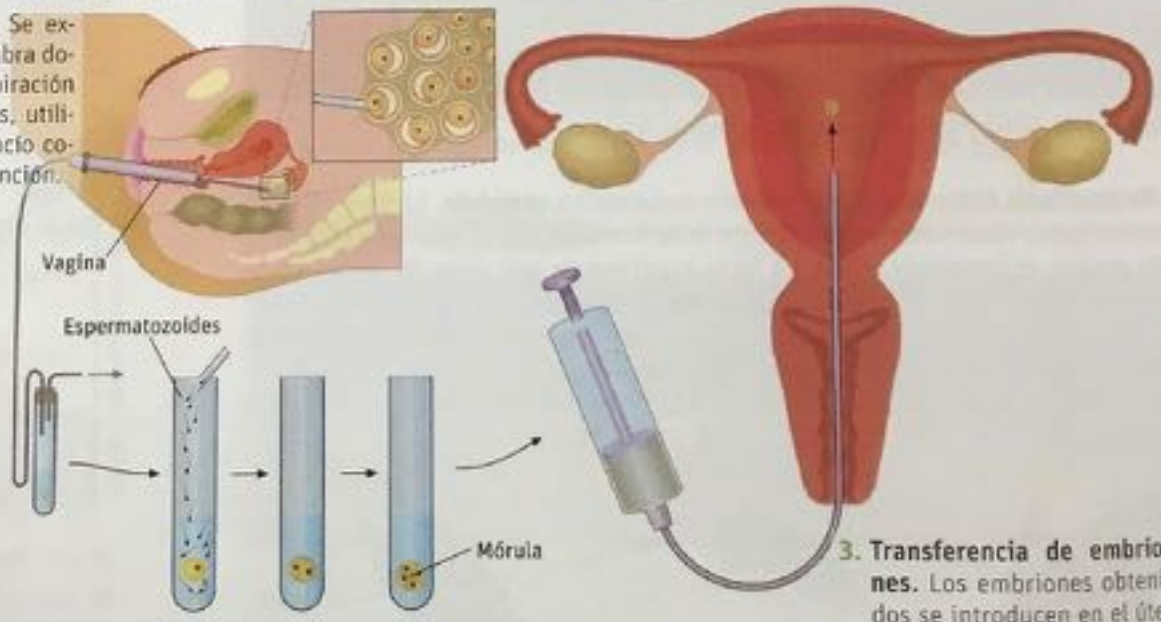
## 7.1. La reproducción asistida y la transferencia de embriones

Las siguientes técnicas se utilizan en mamíferos en general, pero pueden ser aplicadas igualmente a la propia especie humana para paliar casos de infertilidad.

- **La inseminación artificial.** Es el método más sencillo y antiguo y consiste en introducir de forma artificial el semen procedente de machos seleccionados en el interior de las vías genitales de la hembra. El semen puede congelarse y conservarse durante largo tiempo y ser utilizado en el momento de la ovulación de la hembra.
- **La fecundación *in vitro*.** Se utiliza en los casos en que no funciona la inseminación artificial. Consiste en fecundar el óvulo con un espermatozoide en el laboratorio. El término *in vitro* hace referencia a la utilización de recipientes de vidrio para realizar la fecundación. La técnica se desarrolla en las siguientes etapas:

**FECUNDACIÓN *IN VITRO* Y TRANSFERENCIA DE EMBRIONES**

1. **Obtención de óvulos.** Se extraen ovocitos de la hembra donante mediante la aspiración de los folículos ováricos, utilizando una bomba de vacío conectada a la aguja de punción.




2. **Fecundación.** Los óvulos extraídos son inseminados con espermatozoides obtenidos del macho. Los cigotos se desarrollan *in vitro* durante unos tres días, hasta que alcanzan el estado de mórula.

3. **Transferencia de embriones.** Los embriones obtenidos se introducen en el útero de la hembra receptora, que puede ser diferente a la donadora de los óvulos.

**ACTIVIDADES**

23. ¿Por qué en la fecundación *in vitro* la hembra de la que se obtienen los óvulos suele requerir un tratamiento hormonal previo?

24. ¿Qué se hace con los embriones humanos "sobrantes" de una fecundación *in vitro*?

25. ¿Cuál puede ser la razón de que en ganadería se utilicen dos hembras diferentes: una como donadora de óvulos y otra como receptora?

**En la Web**

La fecundación *in vitro*, en imágenes.

www.e-sm.net/svbg1bach11_06

## 7.2. La manipulación de los embriones

Antes de ser transferidos a la hembra portadora, los embriones pueden ser manipulados con fines diversos.

- **Transgénesis.** La tecnología del **ADN recombinante** se utiliza tanto en plantas como en animales. Sin embargo, frente a la gran cantidad de plantas transgénicas que ya están en el mercado, aún no han llegado animales transgénicos a nuestros platos. El salmón transgénico (Fig. 11.23), que crece el doble de rápido que el salvaje, puede ser el primero en superar todos los escollos previos a su comercialización.
- **Clonación.** De forma tradicional, la clonación de animales se ha hecho separando las células de un embrión temprano –que aún no se han diferenciado– para transferirlas a hembras en las que continúa la gestación. Al proceder de la misma célula huevo, los individuos que se obtiene son idénticos. Sin embargo, en la actualidad, el término clonación se reserva para referirse, en particular, al método que permite clonar un animal a partir de una célula somática, es decir, diferenciada de su núcleo.

La clonación de animales a partir de células diferenciadas experimentó un cambio revolucionario a finales de la década de 1990, cuando científicos escoceses clonaron una oveja. En la actualidad la técnica es aplicable al resto de mamíferos.

**Figura 11.23.** Un salmón transgénico comparado con un salmón salvaje de su misma edad.

### LA CIENCIA Y SUS MÉTODOS

#### ¿Cómo obtener un mamífero clónico?

Se utilizan dos métodos ligeramente diferentes:

- **La transferencia nuclear.** Consiste en eliminar el núcleo de un ovocito y sustituirlo por el de una célula somática.
- **La fusión nuclear.** Consiste, básicamente, en fusionar una célula somática a un ovocito al que se le ha eliminado el núcleo.

Las etapas que se siguen son:

1.ª Se extraen células somáticas del individuo que se desea clonar.

2.ª Estas células se cultivan en el laboratorio en un medio adecuado que logra detener el ciclo celular en la fase $G_1$.

3.ª Se obtiene un ovocito de una hembra de esa especie.

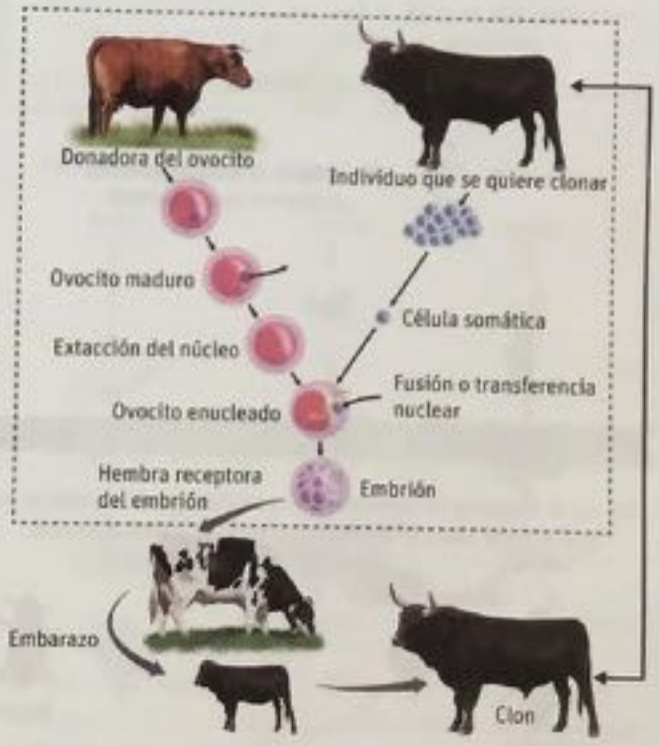
4.ª Se extrae el núcleo del ovocito.

5.ª Se fusionan una célula somática y el ovocito enucleado (o se introduce el núcleo de una célula somática en su interior).

6.ª Se estimula la división de la nueva célula formada para que inicie la segmentación.

7.ª Se trasplanta el joven embrión a la hembra receptora.

8.ª Si el embrión se desarrolla con normalidad, se habrá obtenido un **clon** del individuo donante de la célula somática.




### ACTIVIDADES

26. ¿El dibujo representa el método de clonación por transferencia o por fusión nuclear?

27. ¿Heredará el clon alguna característica de la hembra que aporta el ovocito? ¿Por qué?

28. ¿Se modifica la información genética durante la clonación? ¿Y en la transgénesis?

**En la Web**

La clonación animal se lleva a cabo en varias etapas.

www.e-sm.net/svbg1bach11_07