



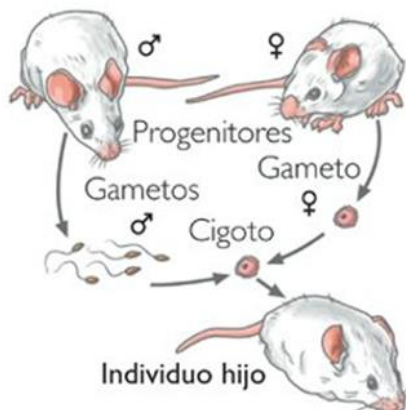
Dpto. de "Ciencias Naturales"
Autor: Javier Pérez

Biología y Geología

1º bachillerato

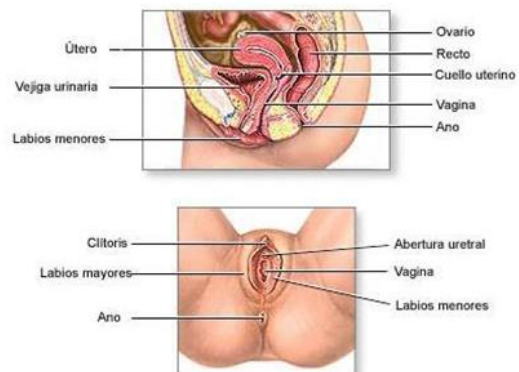
9.-

La reproducción en animales



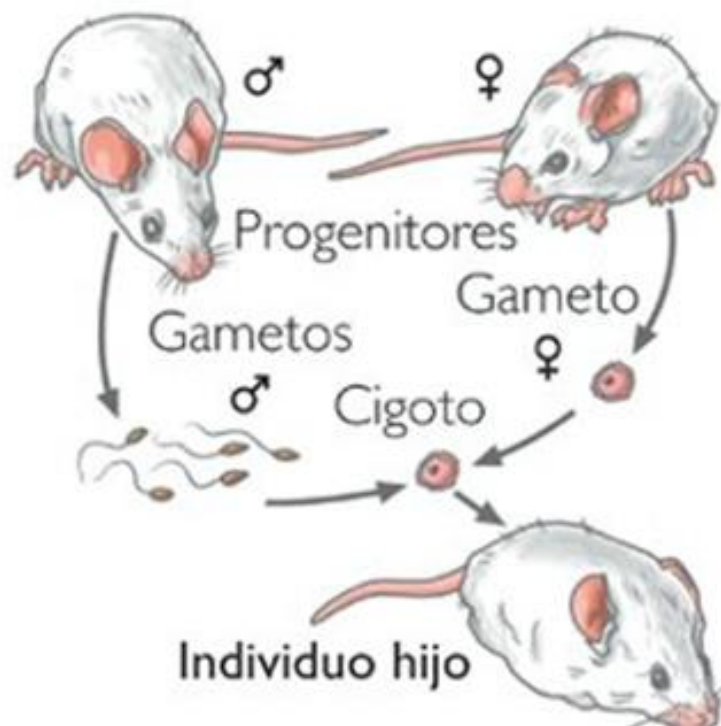
10.-

La reproducción en humanos



9.-

La reproducción en animales



1 Tipos de reproducción

La reproducción es el proceso por el cual los seres vivos producen nuevos individuos semejantes a los progenitores, asegurando la perpetuación de las especies.

Los animales presentan dos modalidades de **reproducción, asexual y sexual**, aunque no son excluyentes, ya que en ocasiones un mismo individuo puede utilizar alternativamente uno u otro tipo de reproducción dependiendo de circunstancias diversas.

1.1 Reproducción asexual o multiplicación vegetativa

La **reproducción asexual** tiene lugar mediante divisiones celulares por **mitosis**.

En este tipo de reproducción participa un solo individuo, de él se separa un fragmento, a modo de unidad reproductora, que puede ser una célula o un grupo de células, que tras su desarrollo da lugar a un individuo genéticamente igual al progenitor.

Esta modalidad de reproducción es más frecuente en los organismos de organización más sencilla; sin embargo, no está muy extendida entre los animales. La reproducción asexual dificulta la variabilidad genética, disminuyendo con ello la capacidad de adaptación, pero favorece la proliferación de la especie, puesto que es más rápida y tiene menos coste biológico que la reproducción sexual. La reproducción asexual, conocida también como multiplicación vegetativa, puede ocurrir por diferentes **mecanismos**:

- **Gemación.** Proceso por el que un grupo de células de un individuo comienzan a dividirse rápidamente produciendo una protuberancia o **yema**. La yema puede separarse del cuerpo del progenitor y originar un nuevo individuo o quedar unida a él originando una colonia. Presentan este tipo de reproducción las esponjas y los pólipos.

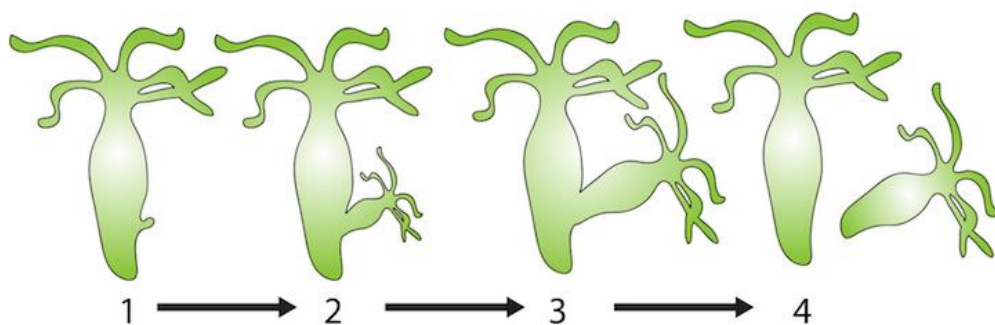


Figura.- Gemación en una hidra.

- **Escisión o fragmentación.** División del cuerpo del animal en dos o más fragmentos, cada uno de los cuales origina un nuevo individuo. Es propia de pólipos, medusas y platelmintos. Algunos animales, aunque se reproducen sexualmente, son capaces de regenerar un fragmento perdido por amputación.



Figura.- Reproducción por escisión en una estrella de mar.

- **Poliembrionía.** Ocurre cuando un embrión en su fase de desarrollo se divide espontáneamente en varios grupos de células, de modo que cada uno de ellos da lugar a un embrión independiente.

Se reproducen así algunos insectos parásitos. Un caso típico de poliembrionía en los vertebrados es el armadillo. En el ser humano este es el proceso que origina los gemelos monocigóticos.

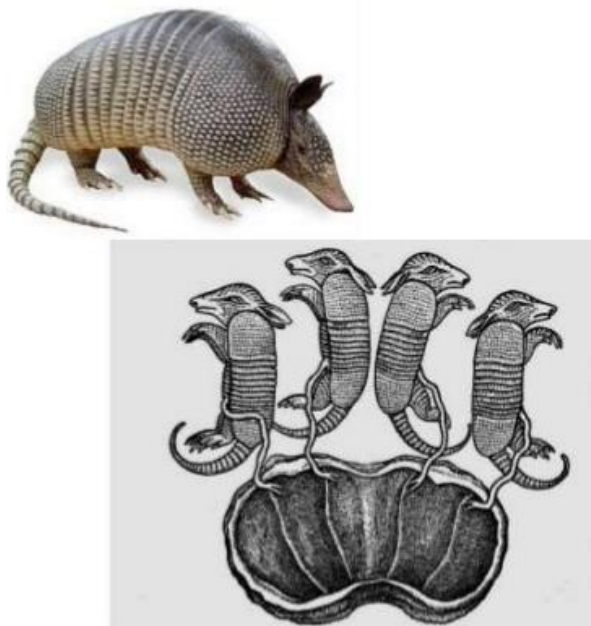


Figura.- Poliembrionía en el armadillo.

1.2 Reproducción sexual

La **reproducción sexual** implica la formación por **meiosis** de células haploides especializadas denominadas **gametos** que, tras su fusión por medio de la fecundación, originarán embriones diploides.

La reproducción sexual requiere por lo general de la concurrencia de dos individuos, macho y hembra, para la producción de los gametos, aunque esto no siempre se cumple. Atendiendo a esta característica podemos distinguir varias **modalidades** de reproducción sexual:

- **Unisexualidad.** Las especies unisexuales cuentan con dos tipos de individuos, macho y hembra, según produzcan gametos masculinos o femeninos. Es decir, los sexos están separados en individuos distintos.

Aunque la mayoría presentan **dimorfismo sexual** –diferencias externas evidentes entre el macho y la hembra–, no todas las especies presentan esta condición.

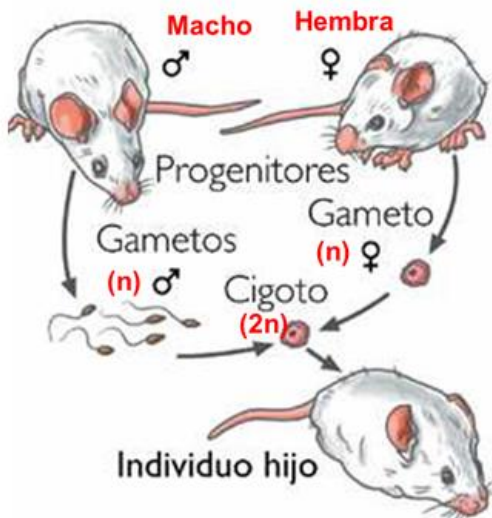


Figura.- Unisexualidad en ratones. No presentan dimorfismo sexual.

- **Hermafroditismo.** En las especies hermafroditas todos los individuos son portadores de gónadas masculinas y femeninas, por lo que producen tanto espermatozoides como óvulos.

Sin embargo, las especies hermafroditas suelen aparearse para fecundarse mutuamente, salvo algunas especies con escasa movilidad o que viven aisladas, como los parásitos, que recurren a la autofecundación.

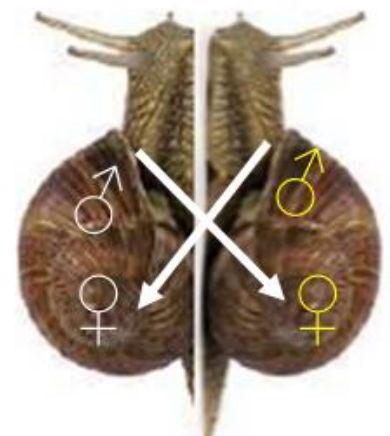


Figura.- Apareamiento de caracoles con intercambio de gametos.

- **Partenogénesis.** En algunas especies pueden obtenerse individuos adultos haploides a partir de óvulos sin fecundar. Esta modalidad de reproducción puede ser ocasional o habitual. Etimológicamente, partenogénesis significa "desarrollo a partir de vírgenes" (*parthenos* = vírgenes). Este mecanismo reproductor aparece, generalmente, en los invertebrados (ciertos insectos, como las hormigas, las abejas, las avispas, los pulgones y algunos coleópteros y crustáceos). También aparece en algunos vertebrados, especialmente en algunas especies de lagartijas y de lagartos.

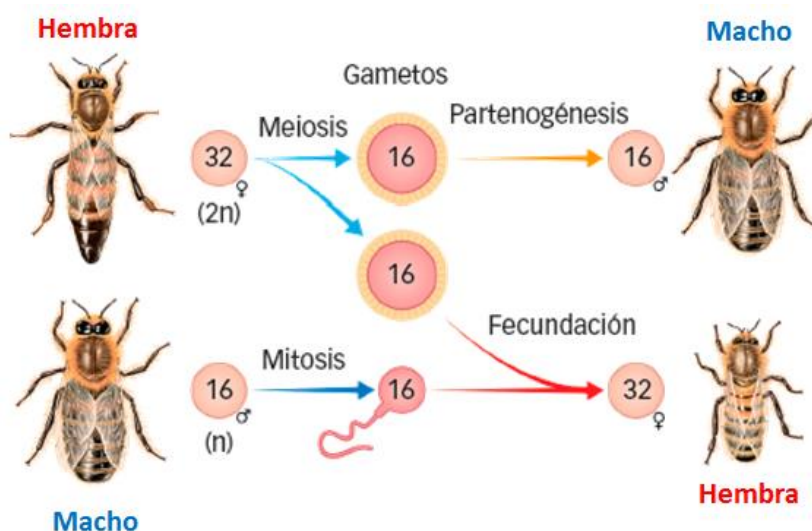


Figura.- Las abejas presentan un sistema de castas: en un panal viven una reina, los zánganos y las obreras. Una semana después de nacer la reina, un zángano (macho) se aparea con ella, dejando los órganos genitales en su interior. Con este sistema, la reina lleva dentro todos los espermatozoides que necesitará a lo largo de su vida. Las hembras surgen de la fecundación de un óvulo (n) por un espermatozoide (n) formándose hembras obreras (2n). Los machos surgen de óvulos (n) no fecundados, siendo pues, haploides (n) – proceso partenogénético-.

1.3 Ventajas e inconvenientes de cada tipo de reproducción

Tanto la reproducción asexual como la reproducción sexual son mecanismos reproductivos con ventajas e inconveniente:

- **Ventajas de la reproducción asexual.** En condiciones favorables, mediante una reproducción asexual tan solo se necesita un individuo para producir, en muy poco tiempo, una gran cantidad de descendientes en los que se mantienen las características del progenitor. Además, los procesos reproductores, excepto en algunos casos, no son especialmente complejos.

Sin embargo, para que ocurra la reproducción sexual es necesario que se formen células especializadas (los gametos), que se encuentren dos individuos de sexos diferentes, que se desarrollen mecanismos para el encuentro y la fusión de ambos gametos y que tenga lugar el desarrollo

posterior del cigoto. Estos procesos implican una mayor dificultad y un mayor gasto energético que los de la reproducción asexual.

- **Ventaja de la reproducción sexual.** En la reproducción sexual son dos los individuos progenitores los que aportan características a los descendientes. Así, cuando se produce la fecundación, se mezcla el material genético de ambos gametos, lo que origina nuevas y únicas combinaciones genéticas.

De esta forma, cada individuo resultante de una reproducción sexual muestra una mezcla única de características que proceden de sus dos progenitores. Esto implica la aparición constante de nuevas combinaciones de caracteres, lo que incrementa la variabilidad de las especies, favorece los procesos de adaptación a cambios ambientales y facilita la evolución. Sin embargo, salvo por mutaciones, en la reproducción asexual, no existe ninguna variabilidad genética, lo que dificulta la adaptación a otros ambientes y la evolución de las especies.

2 Anatomía y fisiología de los aparatos reproductores sexuales

La reproducción sexual se produce gracias al **aparato reproductor**, cuya morfología y función dependen de la especie animal y de si es masculino o femenino. Los animales que presentan ambos aparatos se llaman **hermafroditas** o **monoicos**, mientras que las especies en las que cada tipo de aparato reproductor se encuentra en individuos distintos se denominan **unisexuales** o **dioicos**.

La complejidad del aparato reproductor se incrementa con el grado de evolución de la especie. En las especies más sencillas, el aparato reproductor consta de:

- **Gónadas.** Son los órganos principales. En las gónadas se forman los gametos y, en algunas especies, también hormonas sexuales.

En los animales unisexuales, cada individuo tiene un solo tipo de gónada que puede ser masculina, **testículo**, o femenina, **ovario**. Los testículos producen gametos masculinos, los **espermatozoides** y los ovarios, gametos femeninos, los **óvulos**. En los animales hermafroditas, en cambio, cada animal posee los dos tipos de gónadas o una gónada, denominada **ovotestis**, capaz de formar ambos tipos de gametos.

- **Gonoductos.** Tanto **espermiductos** en el aparato reproductor masculino como **oviductos** en el femenino, son los órganos que conducen los gametos hasta el **gonoporo**. Este poro comunica con el exterior, donde, en algunos casos, se produce la fecundación.

En los animales más evolucionados, el espermiducto se continúa con un órgano copulador, denominado **pene**, que deposita los gametos masculinos en el gonoducto. Facilita, así, la unión de los gametos.

En el aparato reproductor femenino pueden existir otros órganos relacionados, por ejemplo, con el almacenamiento de espermatozoides o con el desarrollo del embrión.

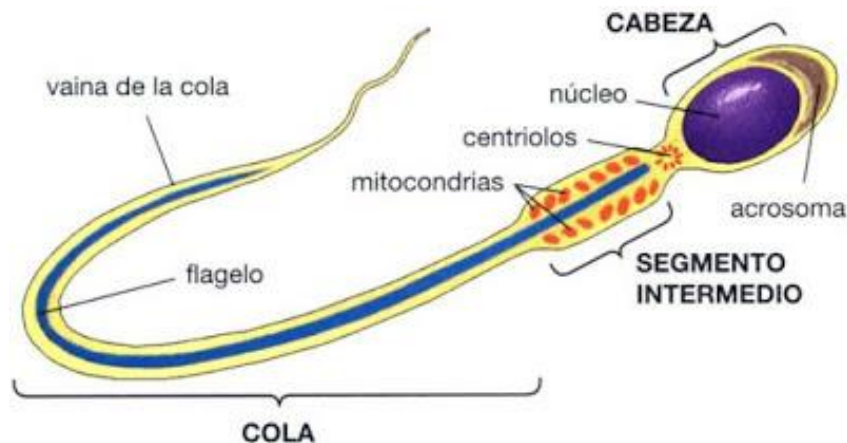
2.1 La estructura de los gametos

2.1.1 La estructura de los espermatozoides

Cada especie o grupo taxonómico tiene su forma típica, que en ocasiones puede servir para identificarlos. La mayoría de los espermatozoides tienen **cabeza, segmento o pieza intermedia y cola**. Los dos últimos están recorridos por el **filamento axial** (estructura formada por microtúbulos originados a partir de un par de centriolos, que es el equivalente funcional de un flagelo).

- **Cabeza.** De forma alargada, está formada enteramente por el núcleo y una vesícula anterior, el **acrosoma**, que deriva del aparato de Golgi y está cargada de enzimas digestivos necesarios para disolver las membranas del óvulo.

Casi no tiene citoplasma, que se concentra en la base del núcleo. Se encuentra separada del segmento intermedio por el cuello, que contiene los centriolos, cercanos al núcleo.

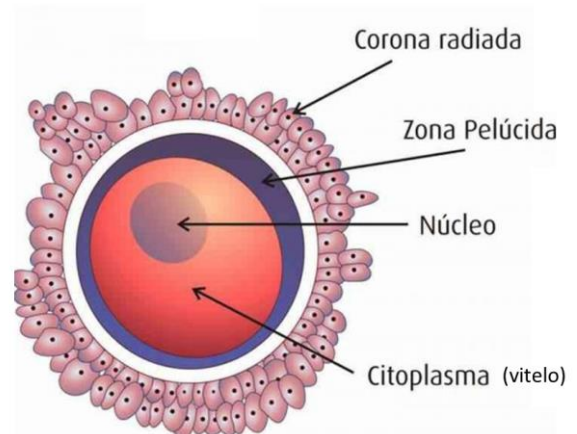


- **El segmento intermedio.** Se halla recorrido por el filamento axial. alrededor de este y adoptando la forma de una banda helicoidal, se disponen las mitocondrias, que proporcionan la energía para el desplazamiento. Presenta una pequeña cantidad de citoplasma.
- **La cola.** Está formada por el filamento axial. Alrededor de este aparece una fina película de citoplasma que termina antes de llegar al extremo de la cola.

2.1.2 La estructura de los óvulos

Los óvulos tienen forma esférica con un núcleo habitualmente situado en posición excéntrica, es decir, desviado hacia un polo de la célula, que recibe el nombre de **vesícula germinativa**. El citoplasma está cargado de sustancias de reserva denominadas vitelo, que nutrirán al futuro embrión, al menos, durante las primeras fases. La distribución de este vitelo no es homogénea, concentrándose generalmente en la zona celular más alejada del núcleo, lo que suele definir dos **polos**: el **animal (PA)**, con el núcleo y, posteriormente, el embrión, y el **vegetativo (PV)**, con el vitelo.

En la periferia celular se localizan los **gránulos corticales**, formados a partir de vesículas derivadas del aparato de Golgi. Alrededor de la membrana plasmática se encuentra una zona más clara, la **zona pelúcida**, y, por encima, una capa de células foliculares, la **corona radiata**.



2.2 La formación de los gametos

El proceso de formación de gametos o **gametogénesis** tiene lugar a partir de **células germinales** que se encuentran en las glándulas sexuales o gónadas.

Estas células (diploides) se dividen por meiosis y dan lugar a células haploides que al madurar se convertirán en espermatozoides (gametos masculinos) u óvulos (gametos femeninos).

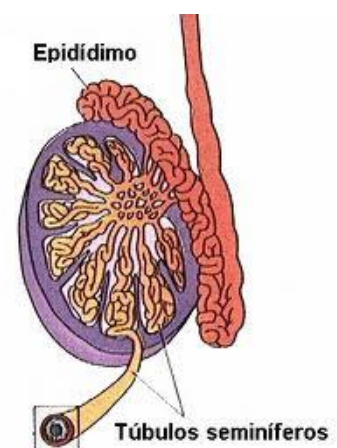
Este proceso tiene lugar en cuatro fases, tanto en la formación de espermatozoides (**espermatoogénesis**) como en la formación de óvulos (**ovogénesis**):

- Fase de proliferación
- Fase de crecimiento
- Fase de maduración
- Fase de diferenciación

2.2.1 Espermatoogénesis

La espermatoogénesis tiene lugar en los **tubos seminíferos** de los testículos.

Figura.- Corte longitudinal de un testículo donde se observan los tubos seminíferos, en cuyas paredes se encuentran las células germinales que originarán los espermatozoides.



- **Proliferación.** Durante el desarrollo embrionario las células germinales producen por mitosis **espermatogonias** diploides (**$2n$**), que permanecen en estado latente hasta la pubertad. A partir de ese momento se inicia la proliferación, en la que las espermatogonias se reproducen y originan nuevas células.
- **Crecimiento.** Algunas espermatogonias permanecen indiferenciadas, mientras que otras crecen hasta formar **espermatocitos primarios** o **de primer orden ($2n$)**.
- **Maduración.** En esta fase los espermatocitos primarios sufren la primera división meiótica. El resultado son dos **espermatocitos secundarios** o **de segundo orden haploides (n)** que, tras la segunda división meiótica, originan cuatro **espermátidas (n)**.
- **Diferenciación** o **espermiogénesis.** Durante esta fase las espermátidas se convertirán en **espermatozoides (n)**. El aparato de Golgi forma el acrosoma y el centriolo origina los microtúbulos del flagelo.

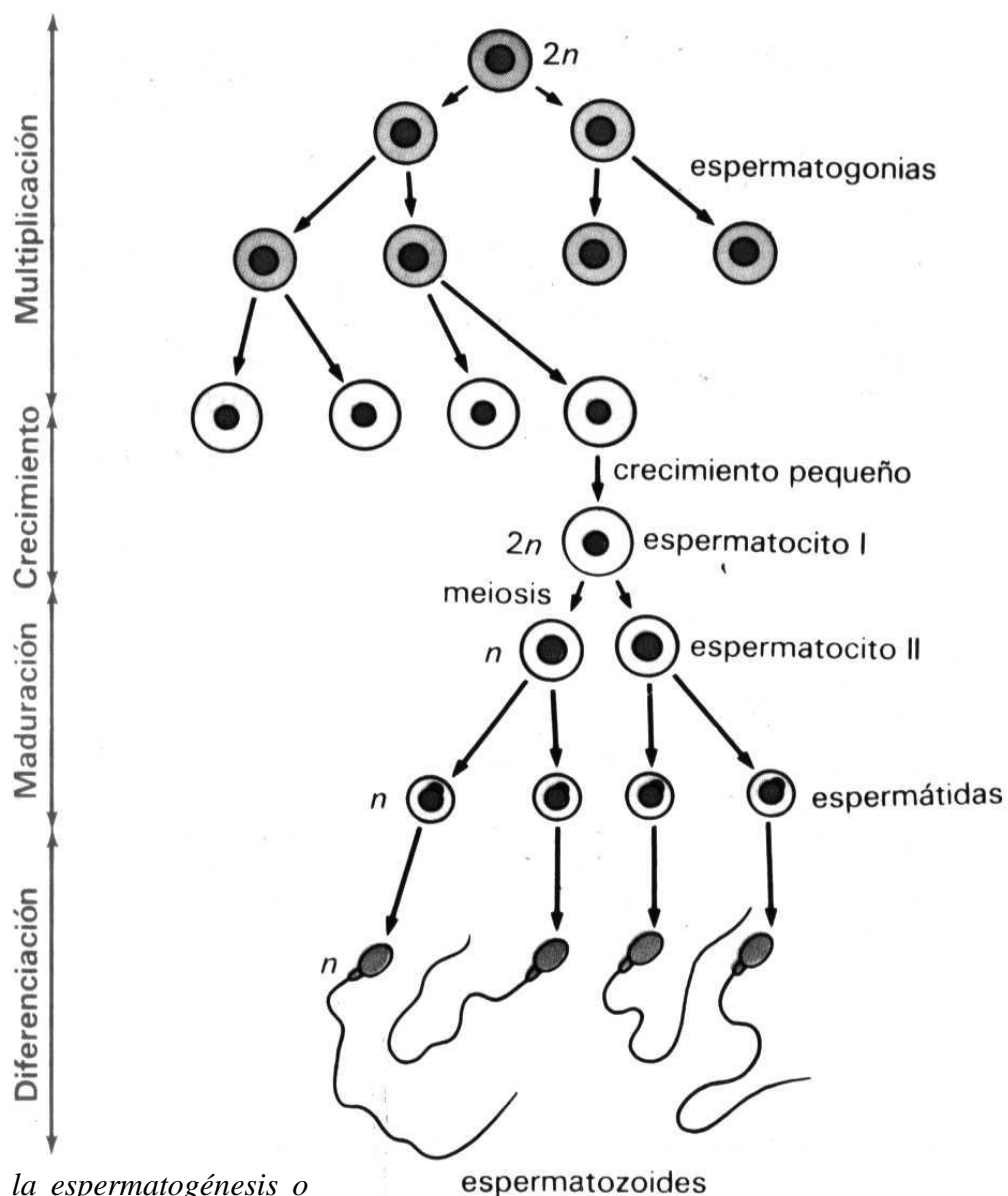


Figura.- Proceso de la espermatogénesis o formación de espermatozoides.

2.2.2 Ovogénesis

La ovogénesis tiene lugar en los **folículos primordiales** de los ovarios.

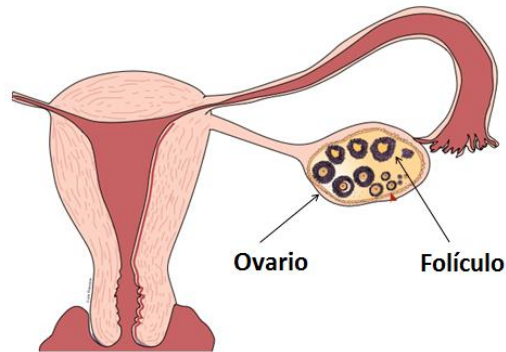


Figura.- Aparato reproductor femenino con la localización de los folículos primordiales dentro de los ovarios.

- **Proliferación.** Ocurre durante el desarrollo embrionario. Las células germinales mediante mitosis producen **ovogonias diploides ($2n$)**.
- **Crecimiento.** Al nacer, cada hembra tiene un número concreto de ovogonias, que aumentan de tamaño y acumulan vitelo, transformándose en **ovocitos primarios** o **de primer orden ($2n$)**. Estos comienzan la profase I meiótica y **se paralizan antes de la metafase I, hasta la pubertad**. El ovocito queda rodeado de una capa de células que forman el **folículo primario**. Con la pubertad, en cada ciclo sexual, uno o más ovocitos crecen rápidamente y acumulan vitelo pasando a la siguiente fase.
- **Maduración.** En la pubertad durante cada ciclo menstrual, un ovocito primario finaliza la primera división meiótica originando un **ovocito secundario** o **de segundo orden (n)**, y un **primer corpúsculo polar (n)**. En la segunda división meiótica **el ovocito secundario se paraliza en metafase II, completándose si hay fecundación y convirtiéndose en una ovótida y otro corpúsculo polar**. En la mayoría de mamíferos los ovocitos secundarios en metafase que no son fecundados, degeneran.

A su vez, el primer corpúsculo dará dos corpúsculos polares. Los tres corpúsculos producidos degeneran.
- **Diferenciación.** La ovótida apenas tiene que sufrir cambios para convertirse en **óvulo maduro**.

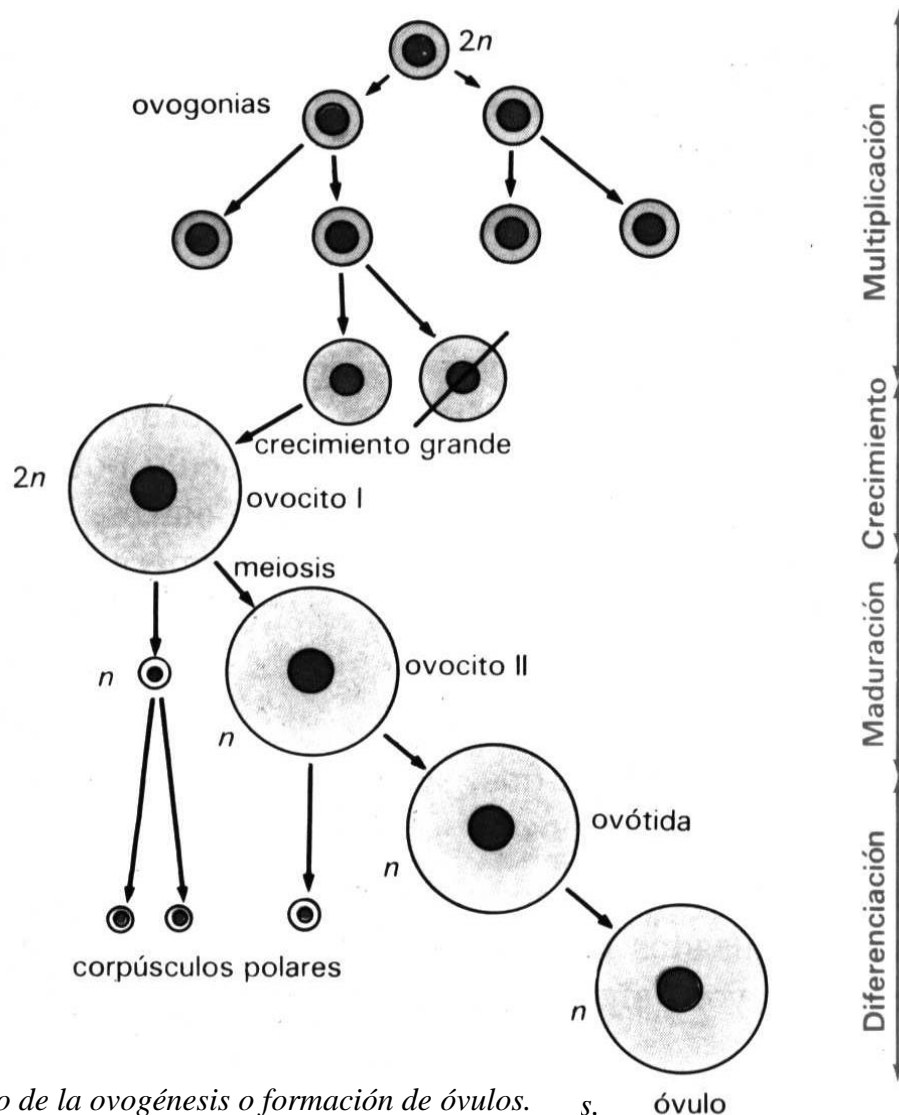


Figura.- Proceso de la ovogénesis o formación de óvulos.

3 La fecundación

La **fecundación** es el proceso de fusión del óvulo y el espermatozoide para formar el cigoto diploide.

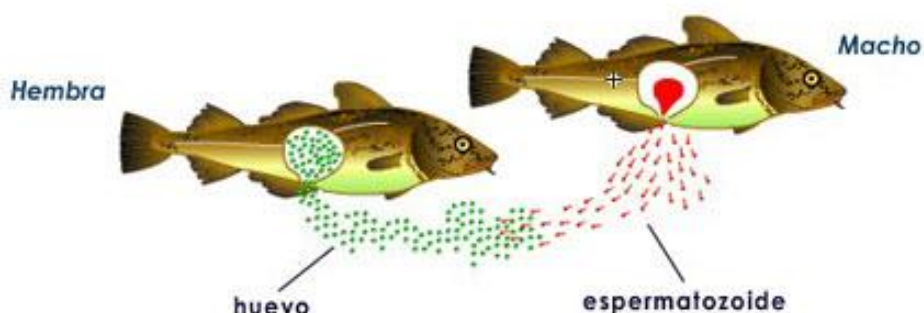
Las células sexuales necesitan un ambiente húmedo para sobrevivir. La humedad preserva la integridad de la membrana plasmática y permite el intercambio de sustancias de la célula con el medio, algo que debe mantenerse durante todo el proceso de fecundación.

1.1 Tipos de fecundación

Pueden distinguirse dos tipos de fecundación:

- **Fecundación externa.** Es propia de numerosos animales acuáticos. Tanto la hembra como el macho liberan los gametos al exterior, donde los óvulos serán fecundados por los espermatozoides de manera fortuita.

Las especies con fecundación externa producen grandes cantidades de células sexuales para hacer frente al riesgo de que numerosas células no alcancen su objetivo y de la falta de protección de los embriones frente a los depredadores.



- **Fecundación interna.** Es característica de los animales terrestres y de algunos acuáticos. Requiere el apareamiento del macho y la hembra y, generalmente, la existencia de un órgano copulador que permita la transferencia de los espermatozoides al interior del aparato reproductor de la hembra, donde tendrá lugar la fecundación.



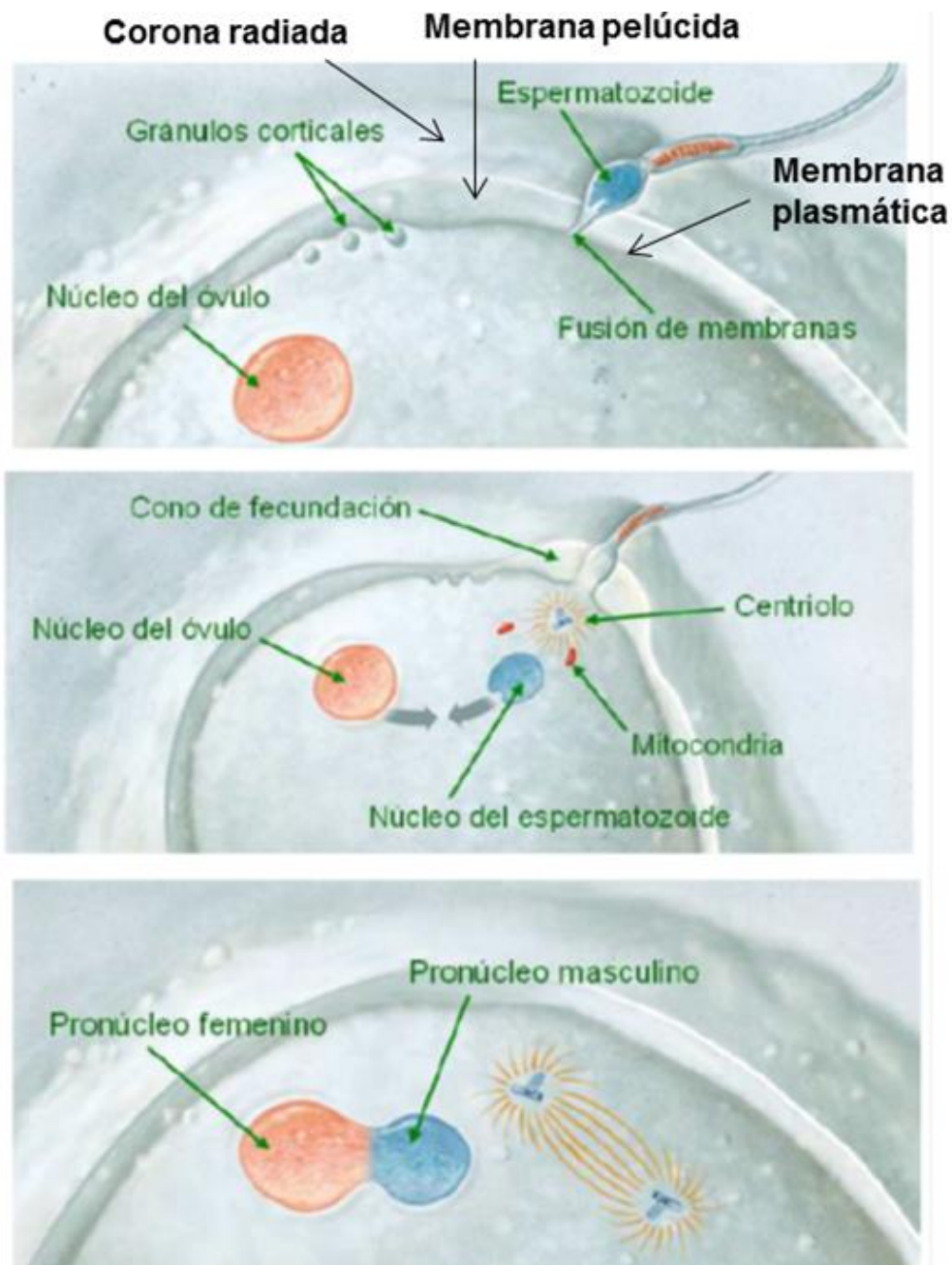
3.2 Fases de la fecundación

El proceso de la fecundación ocurre después de una serie de fases:

- **Encuentro de los gametos.** En primer lugar, el óvulo libera unas sustancias químicas que atraen quimiotácticamente¹ al espermatozoide, lo que facilita el encuentro y la fusión de ambas células. Los espermatozoides reconocen estas sustancias gracias a unos receptores específicos, lo que garantiza que solo se dirijan a óvulos de su misma especie, algo esencial en la fecundación externa.
- **Penetración.** Una vez que el espermatozoide alcanza al óvulo, el acrosoma libera unas enzimas que disgregan la corona radiata y la zona pelúcida. Tras ello, las membranas de ambos gametos se fusionan y forman un **cono de fecundación**, que permite la entrada de la cabeza del espermatozoide.

¹ **Quimiotaxis.** fenómeno por el cual algunos organismos dirigen sus movimientos hacia determinadas sustancias químicas por las que se sienten atraídos.

- **Activación del óvulo.** La penetración del espermatozoide provoca la activación del óvulo, que termina de completar la meiosis. Los gránulos corticales del óvulo provocan la aparición de una **membrana de fecundación**, la cual impide la **polispermia** o entrada de otros espermatozoides y garantiza que solo un espermatozoide puede fecundar al óvulo, lo que se conoce como **monospermia**.
- **Unión de los núcleos.** En el interior del óvulo, el núcleo del espermatozoide o **pronúcleo masculino** se dirige hacia el **pronúcleo femenino**, que también se desplaza a su encuentro. La fusión de ambos se conoce como **cariogamia**. El material genético de ambos pronúcleos queda encerrado en una única membrana y así se forma el núcleo diploide del cigoto o **sincarión**.



El desarrollo embrionario

La **ontogénesis** comprende el desarrollo del animal desde que es cigoto hasta que nace y adquiere la madurez sexual. Durante todo este periodo distinguimos dos etapas:

- **Desarrollo embrionario:** comienza en el momento en que se forma el **cigoto**, el cual se convierte en **embrión** y termina con el nacimiento del individuo, por eclosión del huevo o en el parto en función del grupo animal. En los humanos, a partir de la octava semana, el embrión pasa a denominarse **feto**.
- **Desarrollo postembrionario:** comprende el periodo de crecimiento postnatal (después del nacimiento) y la obtención de la madurez sexual del individuo, es decir, hasta que maduran sus órganos sexuales y son capaces de producir gametos.

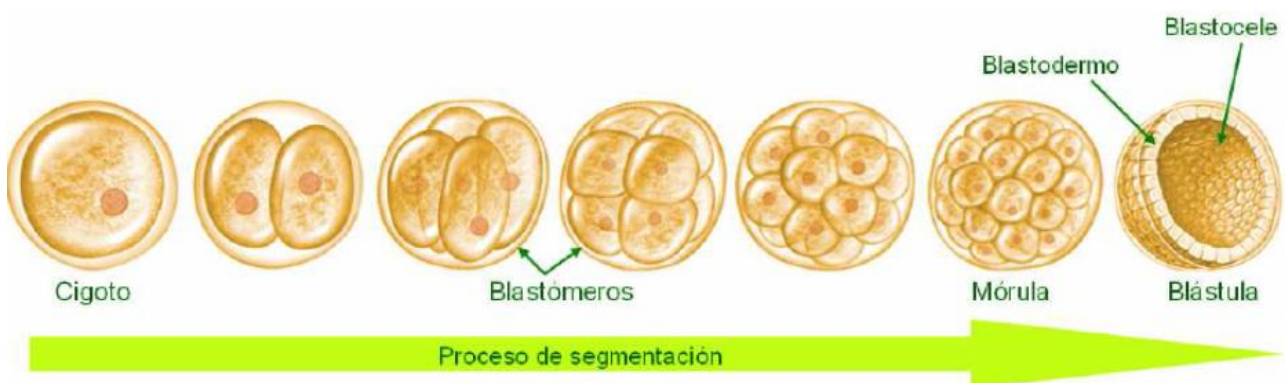
3.2 Fases del desarrollo embrionario

Este proceso por el que se forma un nuevo individuo a partir del cigoto se divide en tres etapas: **segmentación, gastrulación y organogénesis**.

4.1.1 La segmentación

Una vez formado el cigoto, se divide por sucesivas mitosis, según planos perpendiculares, originando dos, cuatro, ocho... células, cada vez más pequeñas, denominadas **blastómeros**, que permanecen unidas. La masa esférica de estas células se llama **mórula** y no aumenta de tamaño con respecto al cigoto.

Conforme avanza la segmentación, los blastómeros emigran hacia la periferia formando una pared externa, el **blastodermo**, que deja una cavidad interior llena de fluido, llamada **blastocèle**. Este estado se denomina **blástula**, que será diferente en función del tipo de cigoto.



4.1.2 La gastrulación

La blástula sufre una serie de plegamientos y cambios en la posición de las células que concluyen en un estado denominado **gástrula**. Existen diferentes procesos de formación de la gástrula. El más sencillo, denominado **por invaginación**, corresponde a organismos como mamíferos, equinodermos y celentéreos.

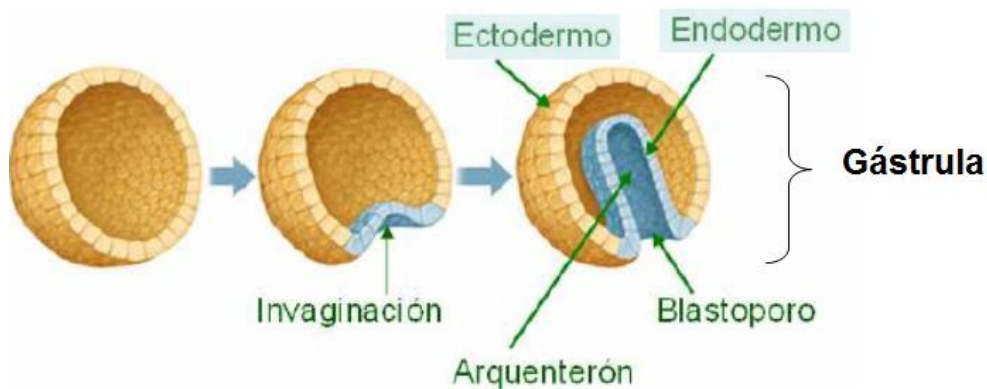
El proceso comienza en una zona determinada en la que los blastómeros crecen hacia dentro (invaginación).

El blastocele se va reduciendo hasta que desaparece, cuando los blastómeros contactan con la pared opuesta.

Aparece una nueva cavidad, el **arquenterón**, que se comunica con el exterior por un orificio, denominado **blastoporo**.

Se forma un embrión con dos paredes u **hojas embrionarias**: la más externa es el **ectodermo**, y la interna, el **endodermo**.

Los animales que terminan su desarrollo embrionario en este estado (como los celentéreos) se denominan **animales diblásticos**.



Los **animales triblásticos** son aquellos cuyo desarrollo continúa con la formación de una tercera hoja, el **mesodermo**, intercalada entre las ya existentes. La aparición del mesodermo constituye un paso esencial en la evolución, pues este permite la aparición de órganos especializados y el inicio de un proceso progresivo de cefalización.

Se pueden distinguir tres tipos de animales triblásticos:

- Los **celomados**, en los que el mesodermo origina una cavidad, el **celoma**, en donde se sitúan la mayoría de los órganos del animal adulto.

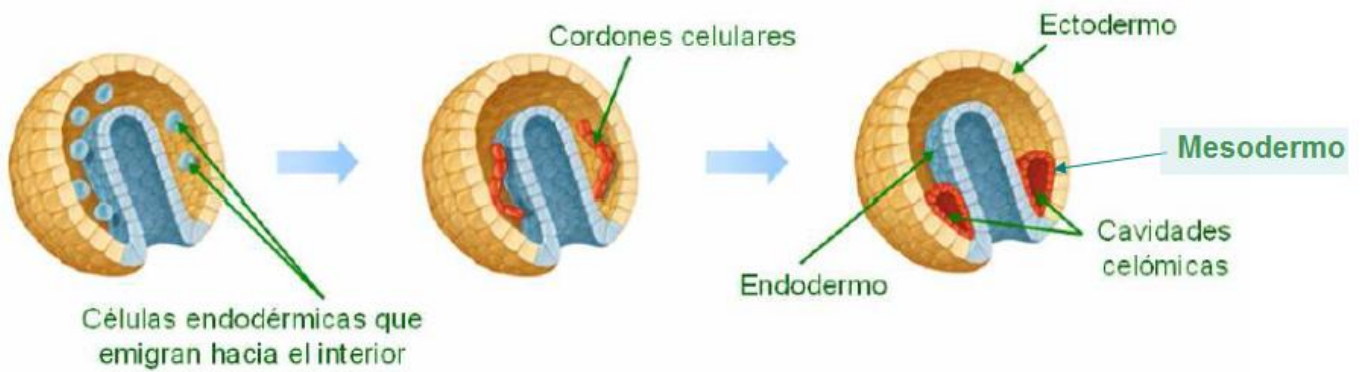


Figura.- Embrión de un animal triblástico con celoma

- Los **acelomados**, en los que el mesodermo queda como una masa compacta, que interviene en la formación de los órganos excretores y reproductores.
- Los **seudocelomados** que conservan el blastocelo de la gástrula formando una cavidad llamada **seudoceloma**, pues no es un verdadero celoma, ya que no está recubierto por el mesodermo.

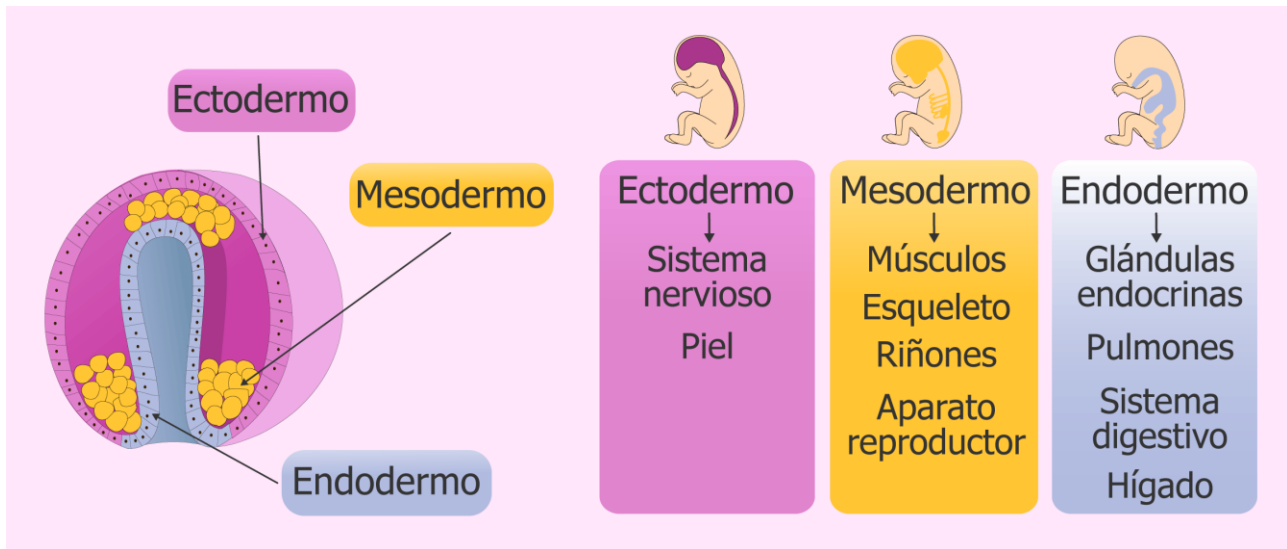
4.1.3 La organogénesis

Tras la gastrulación comienza la diferenciación celular. Los diversos grupos de células comprometen su destino y se especializan dando lugar a los diferentes tejidos. A la vez, mediante una serie de movimientos celulares (generadores de forma), los tejidos se agrupan y originan los distintos órganos y aparatos típicos de los eumetazoos².

De este modo, las hojas embrionarias dan lugar a diferentes estructuras:

- **El ectodermo.** Origina la epidermis y las estructuras epidérmicas (órganos anejos, pelos plumas, glándulas...), el tejido nervioso y los órganos sensoriales de los ojos, nariz y los oídos, así como los epitelios de revestimiento de las aberturas naturales del cuerpo (boca, fosas nasales y ano).
- **El mesodermo.** Genera la dermis, el revestimiento de las cavidades internas, el esqueleto, los tejidos muscular y conjuntivo, el sistema circulatorio y los aparatos excretor y reproductor.
- **El endodermo.** Origina los aparatos digestivo y respiratorio, el tiroides y el epitelio de revestimiento del tubo digestivo, la tráquea, los pulmones y la vejiga urinaria.

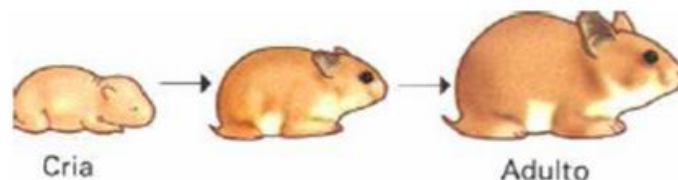
² **Eumetazoos.** Son los animales que presentan tejidos propiamente dichos; comprenden la totalidad de los metazoos, con la única excepción de los poríferos.



4.2 El desarrollo postembrionario

Después del nacimiento, comienza el desarrollo postembrionario, en el que los animales completan su formación; acaba cuando llegan al estado adulto y el aparato reproductor es funcional. Existen dos tipos de desarrollo postembrionario según la complejidad del proceso:

- **Directo.** Es característico de animales cuyo cigoto tiene gran cantidad de vitelo. Es un simple proceso de crecimiento. El animal que nace es igual que el adulto. En ocasiones se completa con la diferenciación funcional de algún órgano.



- **Indirecto.** Es propio de animales con huevos de escaso vitelo. Es un proceso complejo. El individuo nace en una fase muy temprana, que se llama estado de **larva** y completa su desarrollo posteriormente. La larva sufre una serie de cambios estructurales y fisiológicos hasta el estado adulto. El conjunto de transformaciones se conoce como **metamorfosis**. Generalmente, la metamorfosis es un proceso progresivo en el que la larva va adquiriendo mayor complejidad estructural hasta llegar al estado adulto. Puede ser sencilla o compleja:
 - o **Sencilla.** La larva es muy parecida al individuo adulto y las transformaciones consisten en un crecimiento gradual mediante mudas, sin periodos de inactividad.

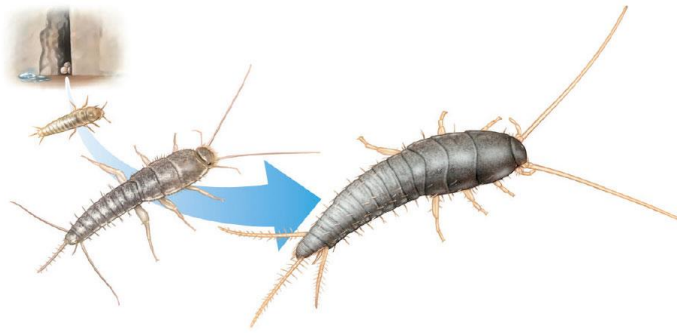


Figura.- *Metamorfosis sencilla en el insecto “pececillo de plata”.*

- **Compleja.** La larva es muy diferente al adulto y las transformaciones suceden en una fase de inactividad, llamada **pupa** o **capullo**, en la que se destruyen tejidos y se forman otros nuevos.

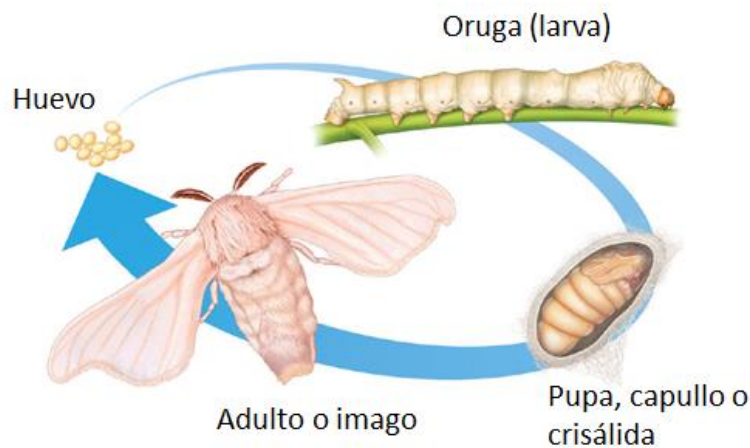


Figura.- *Metamorfosis compleja en insectos lepidópteros.*

5 Anejos embrionarios

El embrión necesita un medio acuoso para su desarrollo y sustancias nutritivas que aporten la energía necesaria durante este proceso. Los anejos embrionarios son un conjunto de membranas, que rodean el embrión proporcionándole protección, ambiente acuoso y nutrientes, y a la vez permiten el almacenamiento de las sustancias de desecho originadas durante su desarrollo.

El tipo de cubiertas embrionarias, así como su función, varían dependiendo del lugar de desarrollo del embrión.

5.1 Animales ovíparos con puesta en el medio terrestre

Desarrollan estructuras protectoras contra la desecación, como la **ooteca** en el caso de algunos invertebrados, o la cáscara en los vertebrados.

Además, en los huevos de los vertebrados terrestres se han desarrollado una serie de cubiertas que han permitido su independencia del agua para la reproducción. Estas cubiertas son:

- El **amnios**, membrana que rodea al embrión y delimita una cavidad llena de un líquido, el **líquido amniótico**, que proporciona el necesario ambiente acuoso con función protectora.
- El **alantoides**, membrana que forma una bolsa en la que se almacenan las sustancias de desecho que genera el embrión. Está muy vascularizada y a través de ella se produce el intercambio de gases.
- El **corion**, membrana más externa que envuelve al amnios y al saco vitelino (bolsa cargada de sustancias nutritivas), y también controla el intercambio gaseoso con el exterior.
- El **saco vitelino**, bolsa con sustancias nutritivas, **vitelo**, que se consumen durante el desarrollo embrionario



Figura.- Anejos embrionarios en el huevo de un ave.

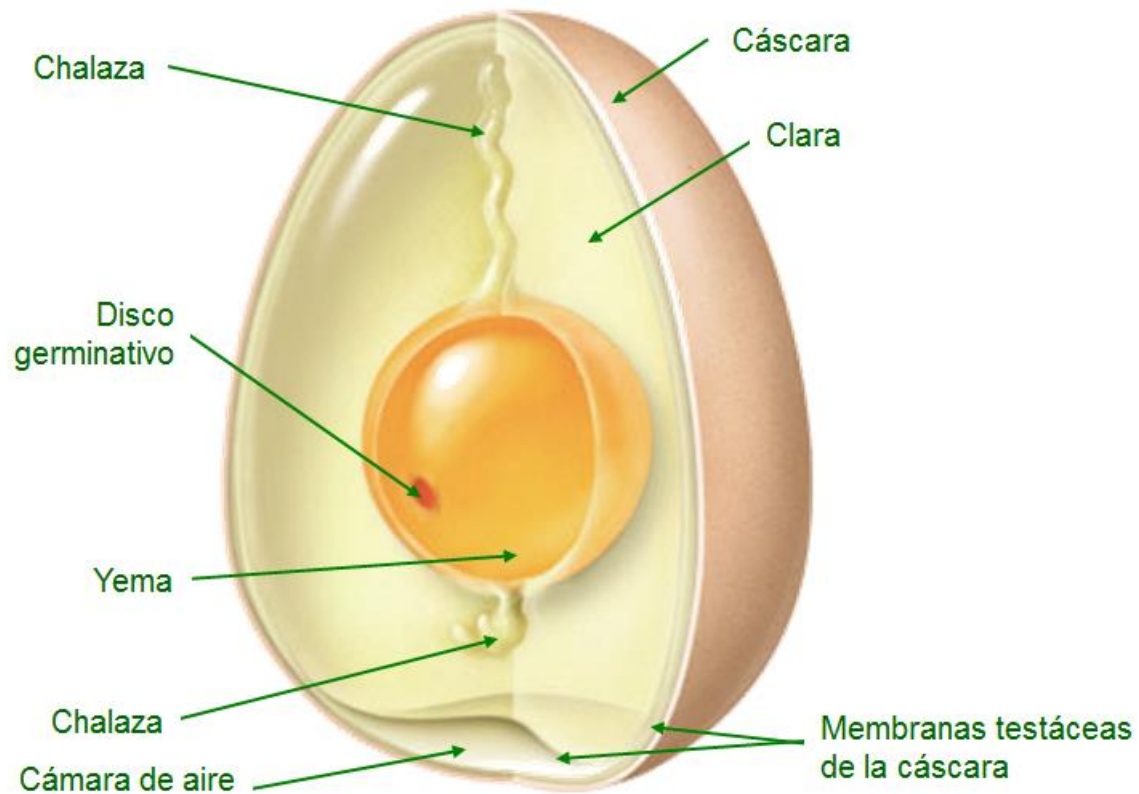


Figura.- Componentes del huevo de un ave antes de producirse el desarrollo embrionario:

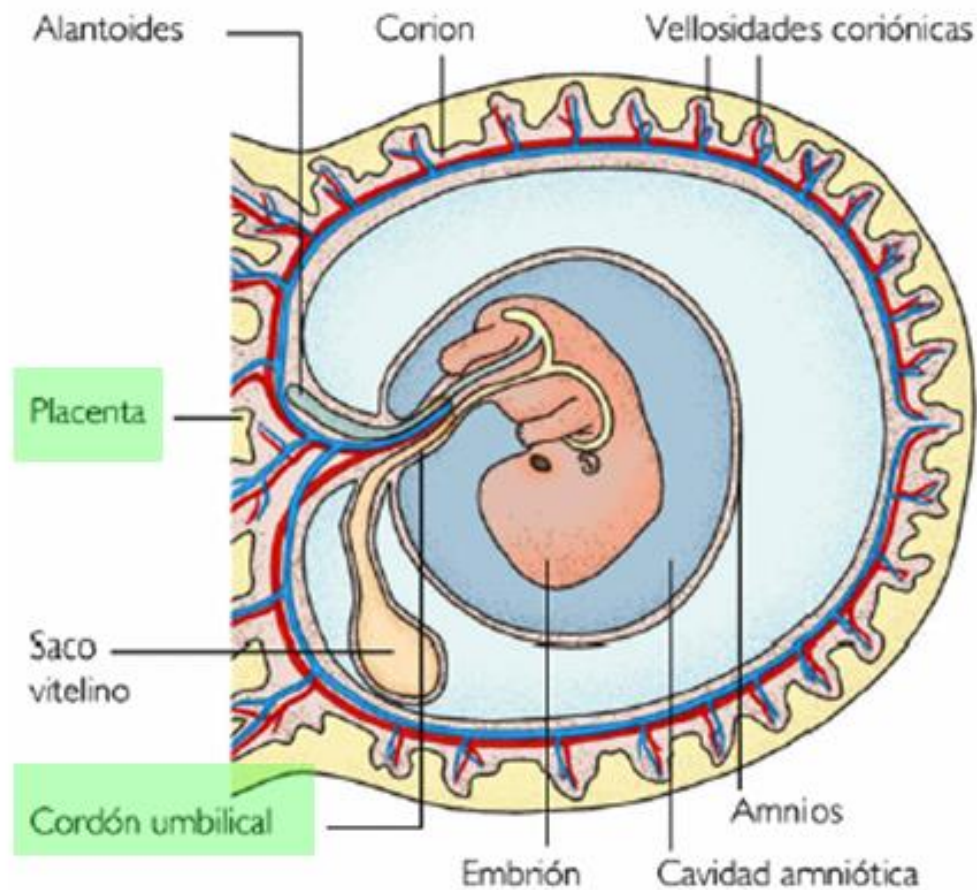
- **Cáscara:** Se compone de carbonato cálcico (94%), carbonato magnésico (1%), fosfato cálcico (1%) y materia orgánica (4% de proteína). Su color depende de la presencia de un pigmento compuesto por ovoporfirinas, ligado a la raza de la gallina. En su superficie hay numerosos poros (entre 7.000 y 15.000) que facilitan el intercambio gaseoso entre el interior y el exterior del huevo.
- **Membranas testáceas:** Están en la cara interna de la cáscara. Son parte de las barreras defensivas del huevo contra la contaminación. La membrana interna es más fina que la externa.
- **Yema:** Es la parte central y anaranjada del huevo. Está constituida por múltiples capas de vitelo y un **disco germinativo** que aparece cuando hay fecundación y a partir del cual se genera el embrión.
- **Clara o albumen:** Su función natural primaria es la de proteger a la yema y proveer nutrientes adicionales para el crecimiento del embrión.
- **Chalaza:** La función que realiza es la de mantener la yema en suspensión y que ésta quede en el centro de la clara para que no toque los bordes del interior de la cáscara.
- **Cámara de aire:** Espacio que se forma por contracción del albumen tras la puesta y fuerza la separación de las membranas. Aumenta con la edad del huevo, las pérdidas de CO₂ y de vapor de agua.

5.2 Animales vivíparos

En los animales vivíparos el **saco vitelino** y el **alantoides** están muy reducidos, ya que el vitelo y el almacenamiento de desechos solo son necesarios en las primeras fases del desarrollo embrionario.

Aparece, en cambio, un nuevo órgano, la **placenta**, formada a partir de las **vellosidades coriónicas** del embrión y de la mucosa uterina de la madre. El **amnios** rodea al embrión, que se desarrolla inmerso en el **líquido amniótico**.

El **cordón umbilical** es una estructura tubular que conecta la placenta y la zona ventral del embrión. A través de sus vasos sanguíneos se eliminan los productos de excreción del embrión, se intercambian gases para la respiración y se incorporan nutrientes.



Reproducción asistida en animales

A comienzos del siglo XX, se empezaron a desarrollar técnicas para la mejora genética y con fines económico-productivos. Entre ellas, la **inseminación artificial**, para aumentar la producción de leche o carne en el ganado; la **fecundación *in vitro*** y la **transferencia de embriones**, en animales con problemas reproductivos; y la **clonación de embriones**, que supone la formación de organismos idénticos llamados **clónicos**, a partir de un solo progenitor.

6.1 La clonación

La clonación, entendiéndola por tal la capacidad de producir individuos genéticamente idénticos, es un hecho cotidiano y natural: gemelos, trillizos, etc., surgen con relativa frecuencia en la naturaleza.

En la actualidad, la **clonación se define** como un conjunto de técnicas por las que se obtienen copias idénticas (o clones) de un organismo adulto a partir de células somáticas.

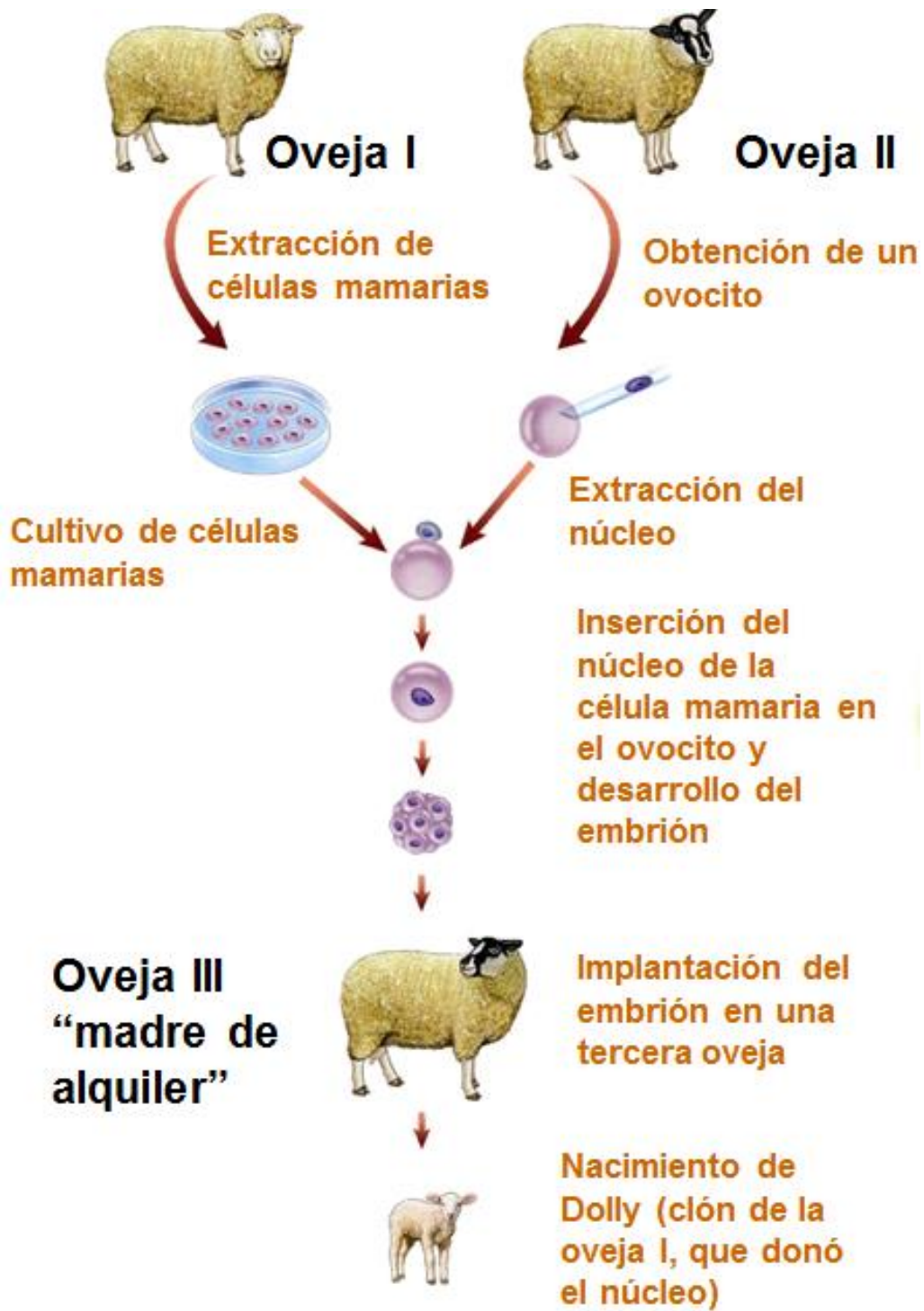
El 5 de julio de 1996 se produjo un acontecimiento que marcó un punto de inflexión en la historia de la biotecnología; el nacimiento de la oveja Dolly, el primer mamífero completo generado a partir de células adultas diferenciadas o especializadas; es decir, de células cuyo destino ya está genéticamente comprometido y determinado.

La base biológica de este proceso estriba en que las células embrionarias conservan su capacidad de dividirse un cierto número de veces y cada una de ellas puede regenerar un organismo completo.

Sin embargo, las células adultas han perdido esa capacidad. El problema esencial era cómo conseguir hacer retroceder el reloj biológico de esas células adultas hasta un estado embrionario y reprogramarlas genéticamente.

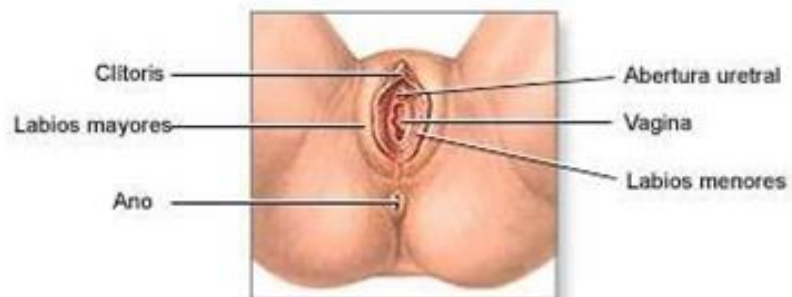
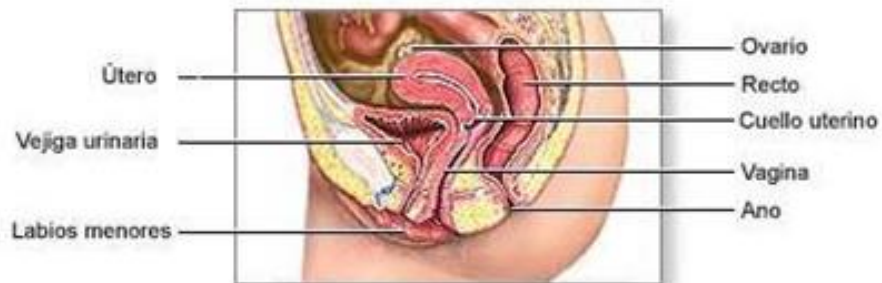
6.1.1 Cómo se clonó a Dolly

La técnica empleada implica la participación de tres "madres" y de ningún "padre", y se puede resumir:



10.-

La reproducción en humanos



1

Anatomía del aparato reproductor masculino

El **aparato reproductor masculino** es el encargado de garantizar la reproducción en el varón. Está formado por órganos internos y externos.

- Los principales **órganos externos** son:
 - o los **testículos**
 - o el **epidídimo**
 - o el **pene**

- Las **estructuras internas** son:
 - o los **conductos deferentes**
 - o las **glándulas accesorias**, que incluyen:
 - la **próstata**
 - las **glándulas bulbouretrales** o **de Cowper**
 - las **vesículas seminales**

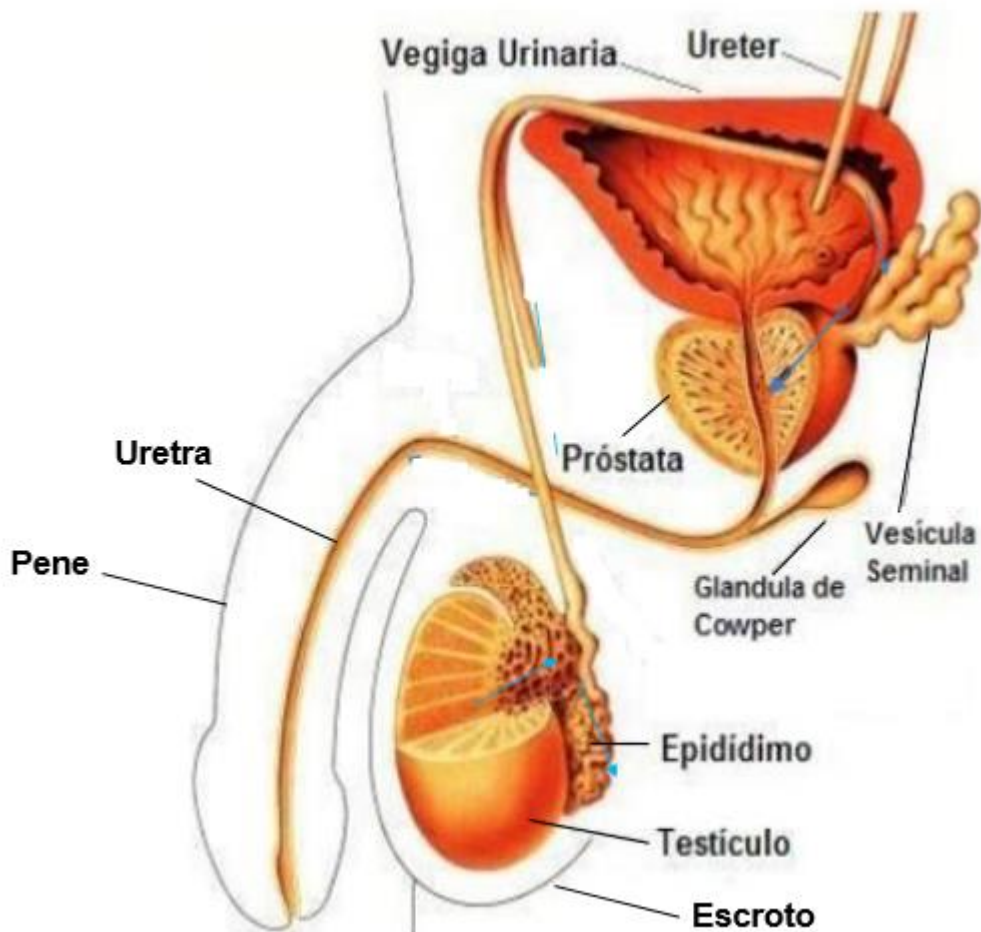


Figura.- Órganos externos e internos el aparato reproductor masculino.

1.1 Órganos externos

1.1.1 Testículo y epidídimo

Los testículos o gónadas masculinas constituyen la parte principal del aparato reproductor masculino, es en ellos donde se forman los espermatozoides. Por otra parte, los testículos, son glándulas de secreción hormonal ya que producen hormonas sexuales.

Son dos y se localizan fuera de la cavidad abdominal, alojados en el interior de unas bolsas de la piel de la región inguinal que reciben el nombre de **bolsas escrotales** o **escroto**. En la figura adjunta, se muestra un testículo alojado en el interior de la bolsa escrotal. Cada testículo tiene un tamaño aproximado a una ciruela y consta de dos partes:

- El **testículo propiamente dicho**, de forma ovoidea.
- El **epidídimo**, que destaca como una prominencia sobre los bordes superior y posterior del testículo.

Los testículos presentan unos **tabiques** que delimitan una serie de **lobulillos**, cada uno de los cuales contiene dos o tres canalículos finísimos y muy tortuosos, los **túbulos seminíferos**, cuya pared está formada por unas células, a partir de las cuales se originan los espermatozoides. Entre estas células se intercalan otras, las células intersticiales o de Leydig, que elaboran las hormonas sexuales masculinas.

Los túbulos seminíferos se dirigen al borde superior del testículo, reuniéndose unos con otros en un número menor de conductos que se apelotonan para formar el **epidídimo**, en cuyo seno acaban confluyendo en un solo tubo, el **conducto deferente**, que sale del testículo y a través del cual los espermatozoides son transportados a la vesícula seminal.

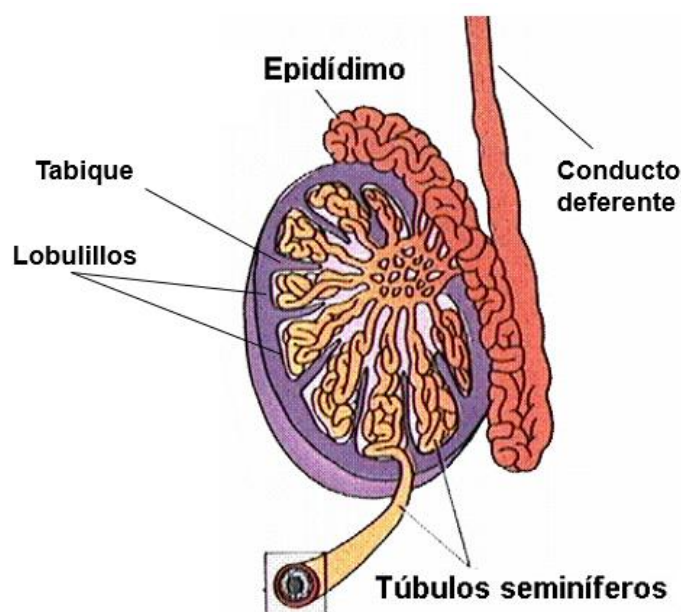
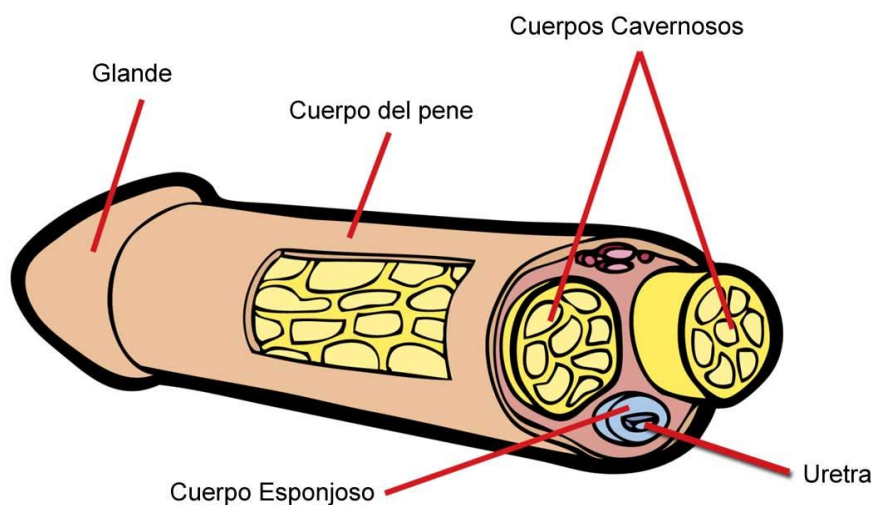


Figura.- Estructura interna de un testículo.

1.1.2 Pene

Es el órgano copulador masculino, se trata de una estructura, aproximadamente cilíndrica, cuya función es depositar el semen en el interior del aparato reproductor femenino.

- **Internamente** está formado por dos **cuerpos cavernosos**, en su parte superior, que producen la erección, y un **cuerpo esponjoso**, en su parte inferior, que conduce y evita que se comprima la uretra durante la erección. Tanto los cuerpos cavernosos como los cuerpos esponjosos, están formados por tejido muscular liso y por tejido conjuntivo. Permiten al pene variar de volumen y consistencia durante las distintas fases de la erección y flacidez, al llenarse o vaciarse de sangre las cavidades existentes en ellos (90% de la sangre en los cuerpos cavernosos y el 10% en el cuerpo esponjoso).



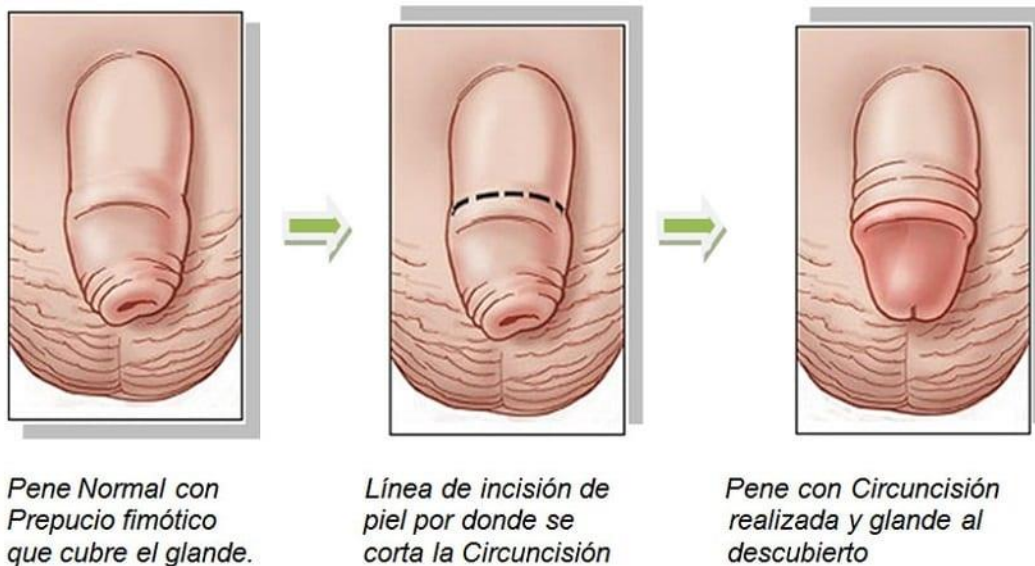
- **Externamente**, el último tramo del pene es el **glándula**, una dilatación ricamente inervada y muy sensible, recubierta por una porción de piel llamada **prepucio**, que tiene la propiedad de poder retraerse permitiendo el afloramiento total del glándula. Esa retracción puede estar limitada por el **frenillo**. El glándula presenta un orificio denominado **meato urinario** o **meato uretral**, que es la salida al exterior de la **uretra**.



La **fimosis** ocurre cuando el orificio del prepucio es demasiado estrecho para dejar salir al glande. Dicho de otro modo, la fimosis es una condición del pene donde el prepucio no puede ser totalmente retraído sobre el glande.

Al nacer, el prepucio está fusionado con el glande y no se puede retraer, es decir, todos los varones recién nacidos tienen fimosis, pero va desapareciendo durante la infancia y la pubertad. A partir de la pubertad, aproximadamente a los 13 años como media, el prepucio debería poder retraerse dejando el glande al descubierto, tanto cuando el pene está flácido como cuando está erecto. Si esto no es posible existe fimosis. La fimosis se considera patológica cuando causa problemas como dificultad para orinar o la realización de las funciones sexuales comunes.

El tratamiento quirúrgico más frecuente es la **circuncisión**, donde se corta una parte o la totalidad del prepucio.



1.2 Órganos internos

1.2.1 Conductos deferentes

Son dos tubos, continuación de cada epidídimo, que durante la eyaculación transportan espermatozoides maduros hasta los conductos eyaculadores, los cuales a su vez reciben líquido de las vesículas seminales y toda esta mezcla, el semen, pasa a la uretra para salir finalmente al exterior.

1.2.2 Glándulas accesorias

■ Próstata

Es una glándula, del tamaño y forma de una castaña, situada bajo la vejiga urinaria. Tiene como función la elaboración y secreción de un líquido alcalino de aspecto lechoso denominado líquido prostático que, durante la eyaculación, se mezcla con los espermatozoides estimulando su movilidad.

■ Glándulas bulbouretrales o de Cowper

Son dos formaciones, del tamaño de un guisante, que desembocan en la uretra y cuya función es emitir una serie de productos para lubricarla antes de la salida de los espermatozoides.

■ Vesículas o glándulas seminales

Dos pequeñas glándulas simétricas, situadas detrás de la próstata. A ellas llegan los conductos deferentes, que transporta los espermatozoides desde los testículos. Segregan un líquido seminal, que proporciona elementos nutritivos a los espermatozoides que van hacia la uretra a través de los conductos eyaculadores.

2

Anatomía y fisiología del aparato reproductor femenino

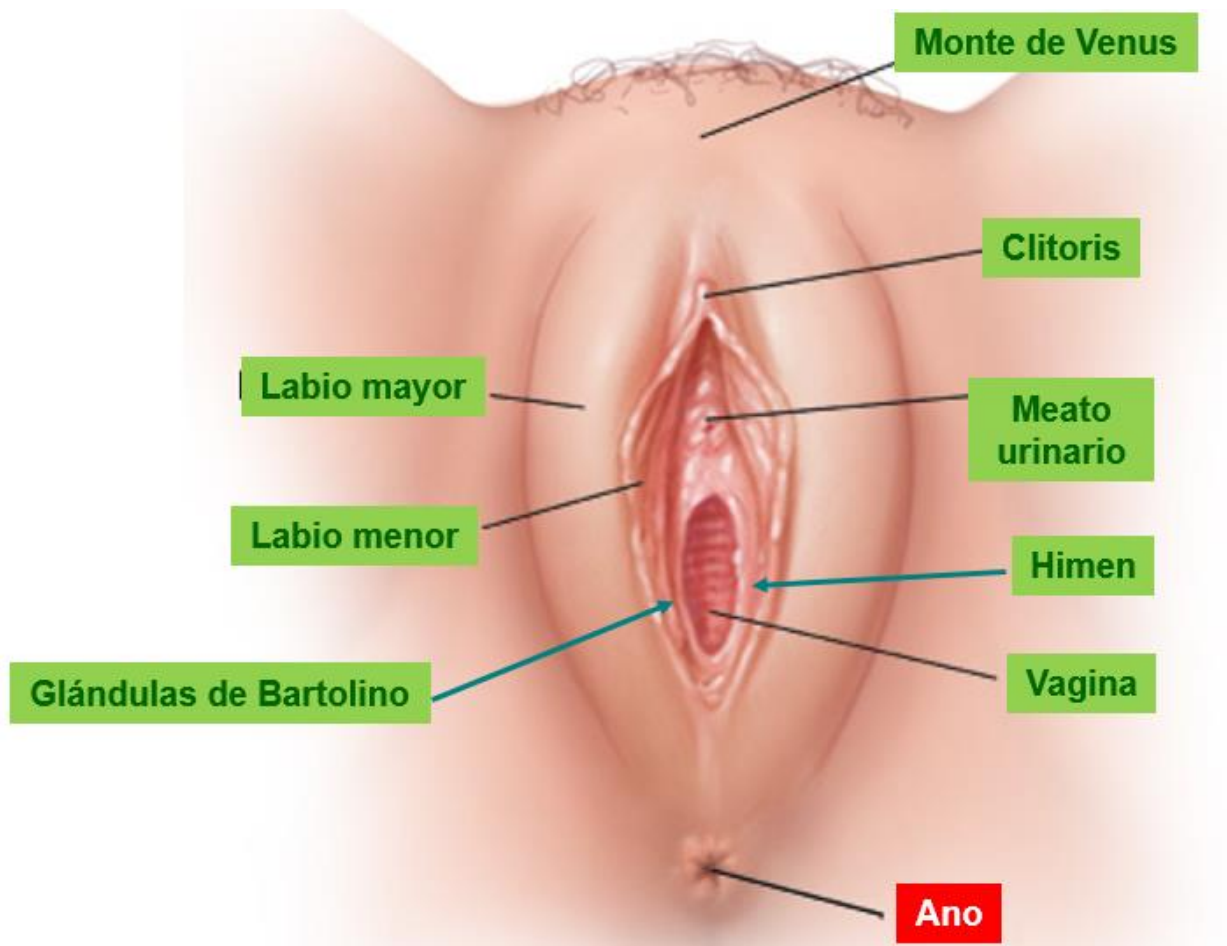
Está constituido por aquellos órganos que intervienen en la formación y expulsión de las células reproductoras femeninas u óvulos, sirviendo también para dar alojamiento a los embriones que se desarrollan en su interior. En la **parte externa** se encuentra la **vulva**, mientras que en la **parte interna** se encuentran los siguientes órganos:

- **Ovarios**
- **Trompas uterinas o de Falopio**
- **Útero o matriz**
- **Vagina**

2.1 Vulva

Representa lo que se conoce como genitales externos en la mujer. Se localiza en la región situada entre los muslos y el ano. Está constituida por dos repliegues cutáneos, denominados **labios mayores**. Son salientes y simétricos, provistos de vello, de glándulas sudoríparas y sebáceas, que proporcionan protección a los orificios vaginal y uretra. Por dentro de los labios mayores se encuentran los **labios menores**, formados también por dos repliegues de la piel, de color rosa más vivo. No tienen vello pero si abundantes glándulas sebáceas y gran sensibilidad.

Los labios menores se juntan en la parte anterior y rodean a un órgano eréctil el **clítoris** muy sensible. El fondo de la vulva se denomina **vestíbulo** y es una zona alargada y ovalada en cuya parte anterior se encuentra el **meato urinario** y a continuación la **entrada a la vagina**. A cada lado de esta entrada desembocan las **glándulas de Bartholin**, encargadas de lubricar los genitales durante la excitación sexual. Sólo en la especie humana el orificio vaginal está cerrado en parte, por una membrana cutánea denominada **himen**.



2.2 Ovarios

Son las gónadas femeninas y se encargan de formar los óvulos o células reproductoras femeninas. Igual que ocurre con los testículos, los ovarios son también glándulas de secreción interna que elaboran hormonas sexuales femeninas.

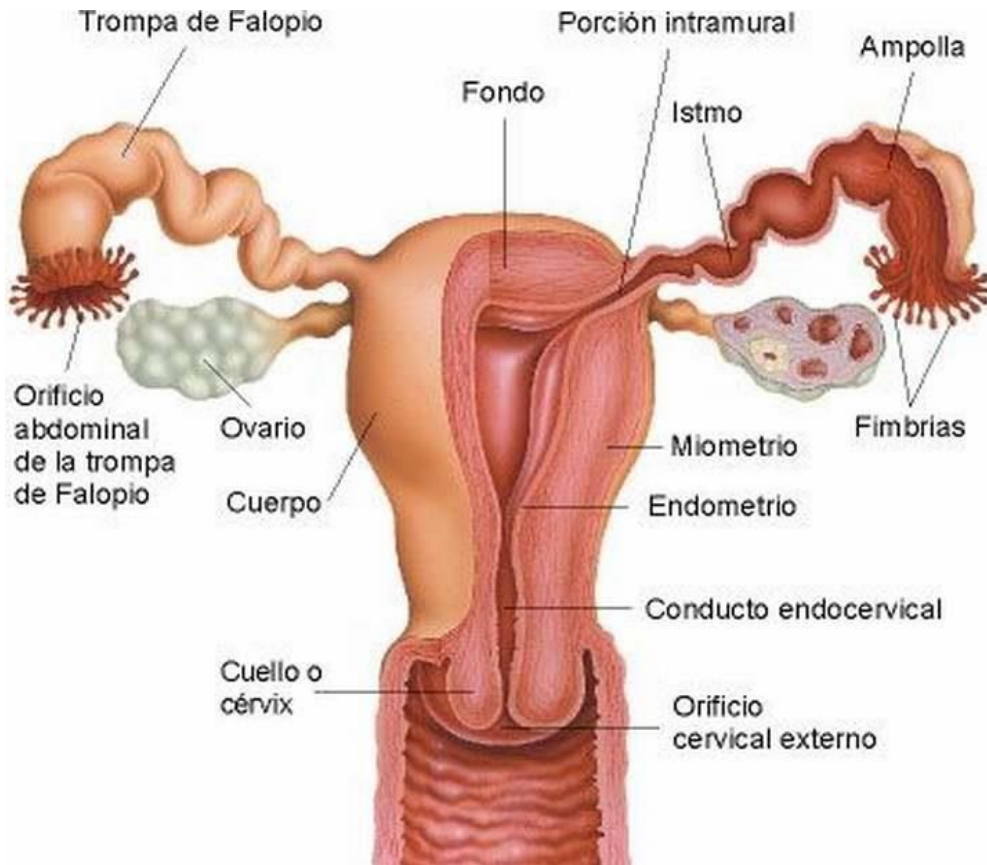
Son dos órganos compactos, de forma ovalada y del tamaño de una almendra, que se encuentran, fijados mediante ligamentos, en la parte baja de la cavidad abdominal, entre las caderas.

En cada ovario se puede distinguir una parte externa llamada **corteza** y una parte central que recibe el nombre de **médula**. Esta última está formada por tejido conjuntivo provisto de numerosos vasos sanguíneos.

La corteza presenta unas cavidades en diferente grado de desarrollo denominadas **folículos**. En principio los folículos son muy pequeños (folículos primarios) y contienen en su interior una célula reproductora femenina u óvulo. Periódicamente un folículo 1º inicia su crecimiento hasta alcanzar su madurez, en este momento se observa que ha aumentado de tamaño y está lleno de un líquido, denominado líquido folicular, que contiene hormonas femeninas. Alcanzada su madurez, el folículo se rompe expulsando el óvulo que hay en su interior y transformándose en el denominado **cuerpo amarillo** o **cuerpo lúteo**, en el que quedan restos del primitivo folículo denominados **cuerpos albicans** que son zonas más blanquecinas.

2.3 Trompas de Falopio

Son dos tubos de unos 15 cm de longitud que ponen en comunicación a los ovarios con el útero. En la zona de ellas próxima a los ovarios presentan un ensanchamiento en forma de embudo con unas prolongaciones a modo de lengüetas (**fimbrias**) que se encargan de recoger los ovocitos expulsados por los ovarios. En el tercio próximo a los ovarios se efectúa la fecundación.



2.4 Útero o matriz

Es un órgano hueco y muscular en forma de pera invertida situado en el centro de la pelvis. Mide 6-9 cm de largo por 3-4 cm de ancho, aunque durante el embarazo estas dimensiones se multiplican. Su misión es alojar y proteger al feto que se desarrolla durante la gestación.

Está formado por dos porciones anatómica y funcionalmente diferentes, el **cuello** y el **cuerpo uterino**.

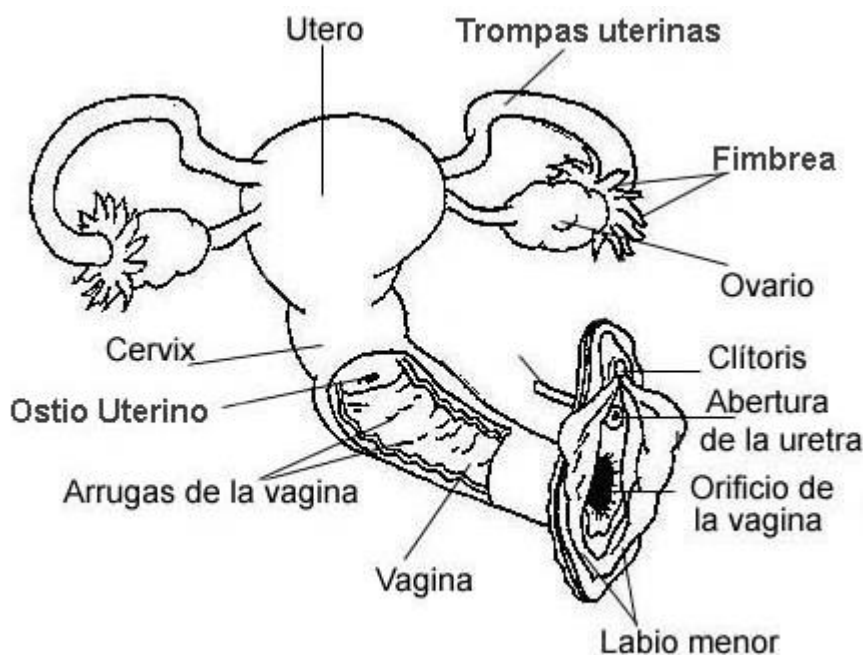
- El **cuello** pone en comunicación la vagina con el cuerpo uterino. Produce un mucus que favorece o dificulta el ascenso de los espermatozoides.
- El **cuerpo uterino** o **cérvix** es una cavidad revestida internamente por una capa mucosa denominada **endometrio**, ricamente irrigada, que posee la propiedad de descamarse periódicamente produciendo la regla o menstruación.

La zona descamada se regenera y se cubre rápidamente en 3-5 días. Rodeando al endometrio existe una gruesa capa muscular el miometrio, que desempeña un importante papel en la expulsión del feto durante el parto. El miometrio, a su vez está rodeado por el denominado perimetrio.

2.5 Vagina

La **vagina** es un conducto musculoso y elástico, que forma parte de los órganos genitales internos de la mujer, y se extiende desde la vulva hasta el útero. La apertura externa vaginal puede estar parcialmente cubierta por una membrana llamada **himen**. La vagina se extiende desde dicha apertura hasta el **cuello uterino (cérvix)**.

La vagina permite las relaciones sexuales y el parto; además canaliza el flujo menstrual, que ocurre periódicamente como parte del ciclo menstrual.



2.6 El ciclo menstrual

Es el fenómeno típico de la madurez sexual de la mujer. Se caracteriza por una pérdida de sangre, que proviene del útero, mezclada con mucus que dura de 3 a 5 días y que se repite cada 28 a 32 días. El ciclo está **regulado hormonalmente** interviniendo en esta regulación dos hormonas segregadas por la hipófisis, la **FSH (folículo estimulante)** y la **LH (luteizante)**. Ambas hormonas actúan sobre los ovarios que, a su vez, segregan hormonas (**estrógenos y progesterona**) que ayudan al funcionamiento del ciclo.

El ciclo menstrual consta de dos fases:

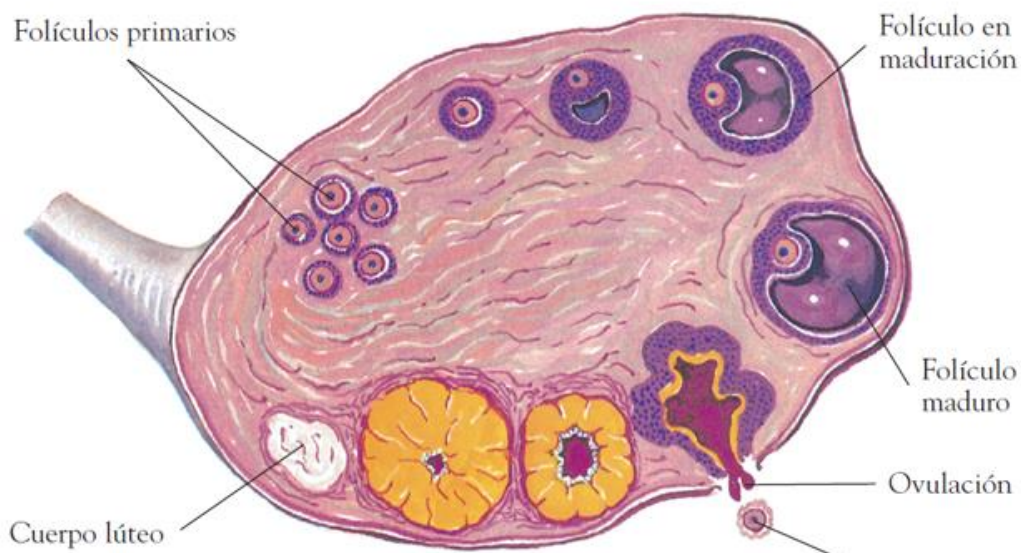
a) Fase folicular. Tiene una duración entre 12 y 17 días. Comienza con la aparición de la regla o menstruación, que marca el inicio del ciclo. Al mismo tiempo la hipófisis segrega la FSH que, vía sanguínea, llega al ovario donde activa el desarrollo de uno de los folículos, inhibiendo el crecimiento de los restantes. Mientras, la mucosa que reviste el útero (endometrio), que ha sido destruido en el curso de la menstruación anterior, comienza a engrosar bajo la influencia de los estrógenos segregados por el ovario.

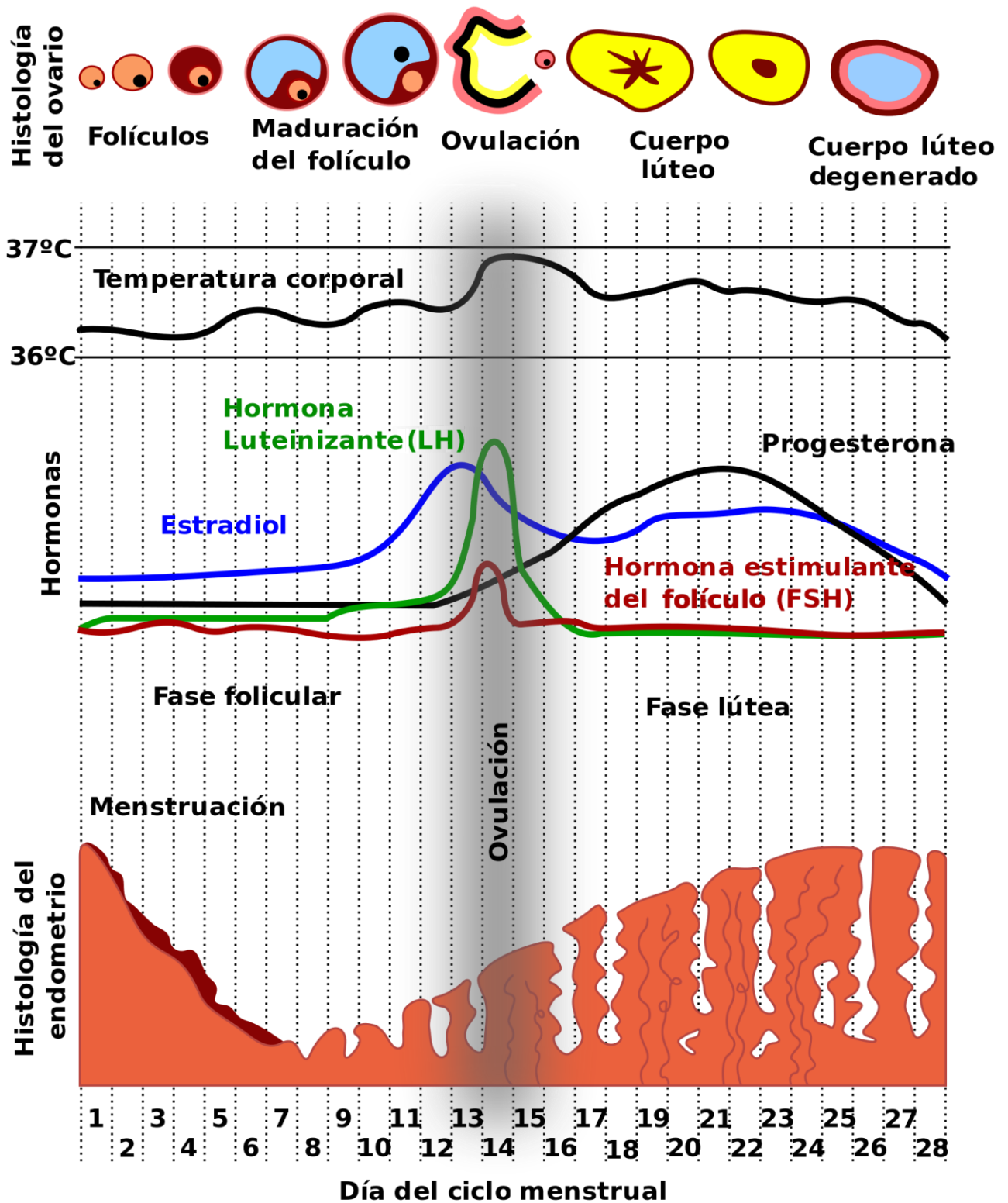
A mitad del ciclo aparece la **ovulación**, relacionada con un aumento en la secreción, por parte de la hipófisis, de la LH. Dicha hormona produce la ruptura del folículo desarrollado y la expulsión del ovocito, lo que determina la disminución de estrógenos y un aumento en la secreción de progesterona.

b) Fase luteínica. Tiene lugar en el ovario después de la ovulación y dura 13 o 14 días. Durante la misma se forma el **cuerpo amarillo o cuerpo lúteo** por acumulación de lípidos y pigmentos de color amarillo en las células del folículo roto. El cuerpo amarillo incrementa la secreción de progesterona, cuya acción es actuar sobre el endometrio para engrosarlo al máximo (6-8 mm de espesor). Este toma el aspecto de un encaje y su función es permitir la nidación del posible cigoto, al mismo tiempo que provoca un aumento de la temperatura basal ligeramente por encima de los 37 °C. Si el ovocito no es fecundado, degenera.

En el ovario el cuerpo lúteo se convierte en el **cuerpo albicans** (blanco), disminuyendo la secreción de progesterona. La disminución de hormonas provoca una falta de estímulo para que el endometrio siga creciendo, por lo tanto se descama provocando la expulsión de sangre y mucus al exterior, esto se conoce como **regla o menstruación** y es el inicio de un nuevo ciclo.

En caso de que se haya producido la fecundación, el cigoto envía un mensaje al ovario para que mantenga el cuerpo amarillo y la producción de progesterona y estrógenos para que el endometrio se mantenga durante el embarazo y no se produzcan menstruaciones.





Valores medios

La duración y los valores pueden diferir de una mujer a otra o de un ciclo a otro

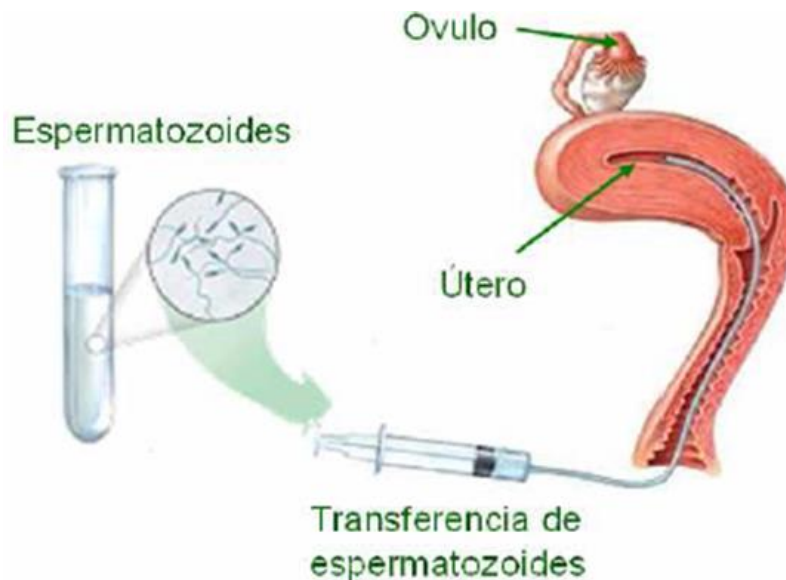
3 Reproducción asistida

Gracias a los múltiples avances científicos, el ser humano ha podido intervenir en los procesos reproductivos.

Las técnicas biomédicas de reproducción asistida en la especie humana han permitido obtener soluciones a problemas como la esterilidad.

3.1 Inseminación artificial

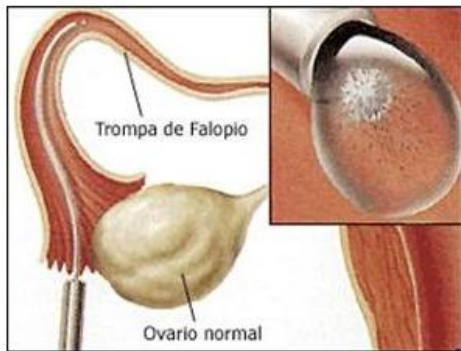
Consiste en la introducción artificial de semen en el útero de la mujer en el momento de la liberación del ovocito. Requiere la estimulación hormonal de la ovulación en la mujer y la selección y concentración de espermatozoides móviles y desarrollados.



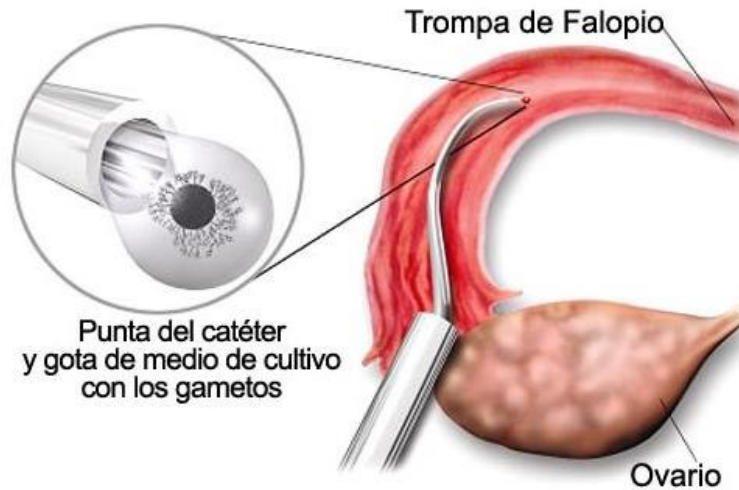
3.2 Transferencia intratubárica de gametos

El primer paso es la **superovulación**. Para esto se usan inyecciones hormonales para estimular los ovarios a que liberen múltiples ovocitos.

La transferencia intratubárica de gametos usa múltiples ovocitos recolectados de los ovarios. Los ovocitos se colocan en un tubo delgado y flexible (catéter) junto con los espermatozoides que se van a usar. Los gametos (los ovocitos y los espermatozoides) luego se inyectan en las trompas de Falopio mediante un procedimiento quirúrgico que se llama **laparoscopia**. De esta manera se consigue que la fecundación se lleve a cabo en su lugar fisiológico y no *in vitro* en el laboratorio. El médico usará anestesia general.

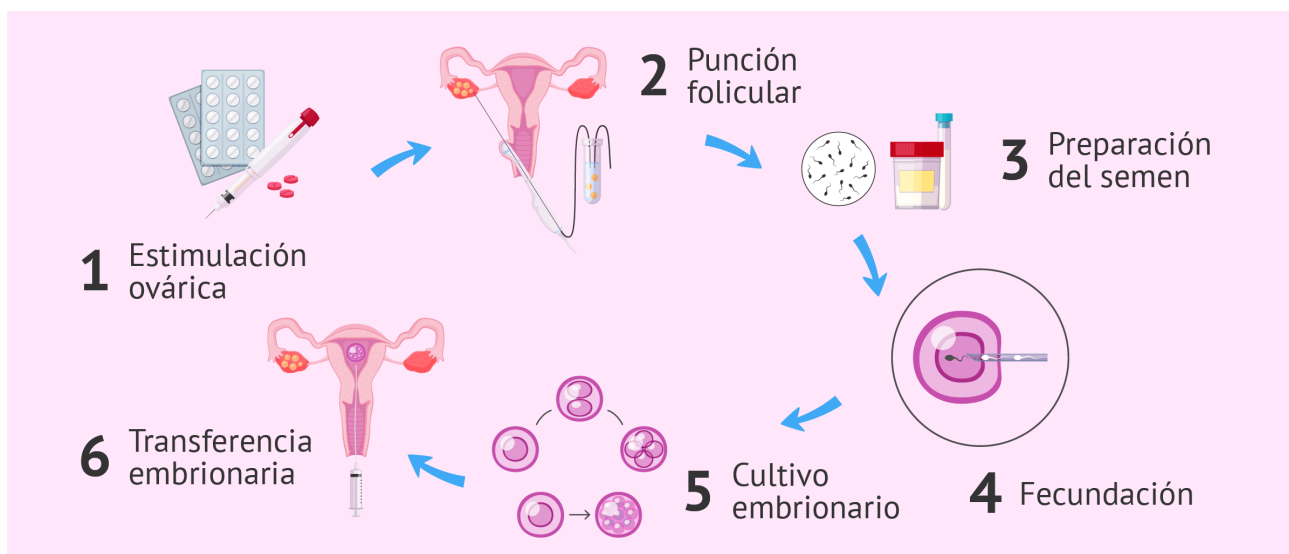


Luego de la extracción de los óvulos del ovario, tanto los espermatozoides como los óvulos se inyectan por medio de un catéter directamente en la trompa de Falopio. A partir de ese momento, la fecundación puede seguir su curso de manera normal en la trompa de Falopio.



3.3 Fecundación *in vitro*

Se obtienen ovocitos de los folículos mediante punción desde el interior de la vagina y son fecundados con espermatozoides en el laboratorio. Los cigotos obtenidos se cultivan *in vitro* durante 2 o 4 días y posteriormente se transfieren al útero de la mujer en estado de blastocito. Los embriones formados, pero no implantados, se congelan, por si el primer implante no resultó eficaz. La ley española permite tener congelados los embriones hasta 5 años.



3.4 Inyección intracitoplasmática de espermatozoides

Se puede considerar una variante de la fecundación *in vitro*. Por micromanipulación se introduce un solo espermatozoide directamente en el interior del ovocito. Posteriormente sigue el mismo proceso que la fecundación *in vitro*.

Es empleada cuando el número de espermatozoides es muy bajo, o su motilidad es escasa.

