

LA CONTINUIDAD DE LA VIDA ANIMAL

Embriología – principios del desarrollo

DE UNA CÉLULA A UN ORGANISMO MULTICELULAR COMPLEJO

1. Toda la información requerida, contenida en una célula
2. Todos (?) los animales muestran mecanismos fisiológicos y moleculares de desarrollo **similares**
3. Conexión Desarrollo - Evolución

PREFORMACIÓN VS DESARROLLO

Organismos completos “preformados”
en el óvulo (XVII-XVIII)

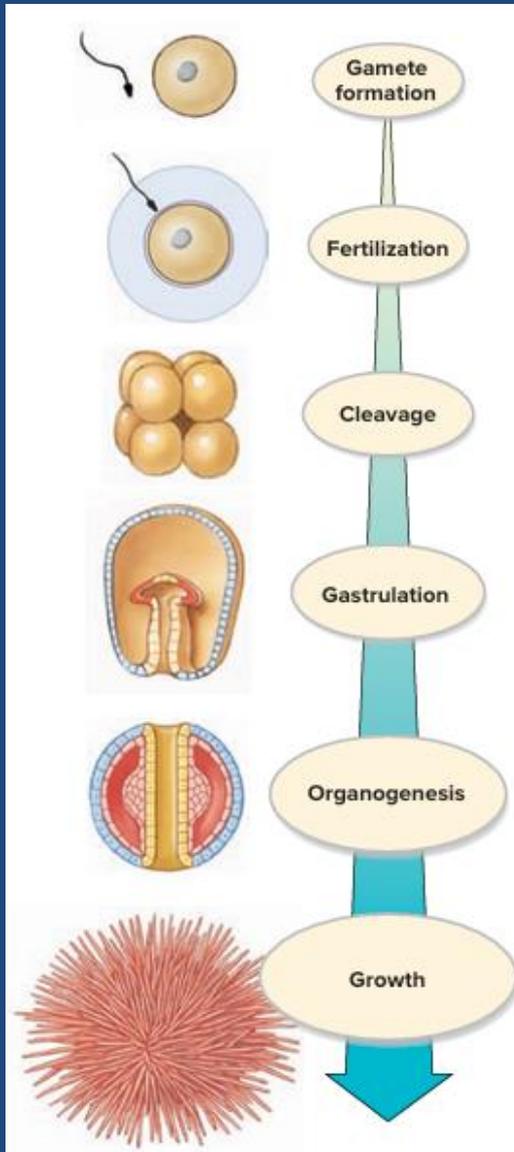
Desarrollo progresivo (1759, KF Wolff):
epigenesis

**Cambios secuenciales y
jerárquicos: eventos en una
etapa generan las condiciones
para la siguiente etapa**



Hartsoeker, Essai de deoprique, 1694

ESTADÍOS DE DESARROLLO SUJETOS A CONDICIONES GENERADAS EN ESTADÓS ANTERIORES



- ❖ Formación de las gametas
- ❖ Fusión de núcleos – formación de la zygota
- ❖ Subdivisión de la zygota
- ❖ Formación de las capas germinales
- ❖ Formación de órganos a partir de capas germinales
- ❖ Crecimiento en tamaño

EL EMBRIÓN COMIENZA CON LA UNIÓN DE DOS GAMETAS

1. Oocito

crecimiento en tamaño
por acumulación de **vitelo**

mRNA, rRNA, tRNA

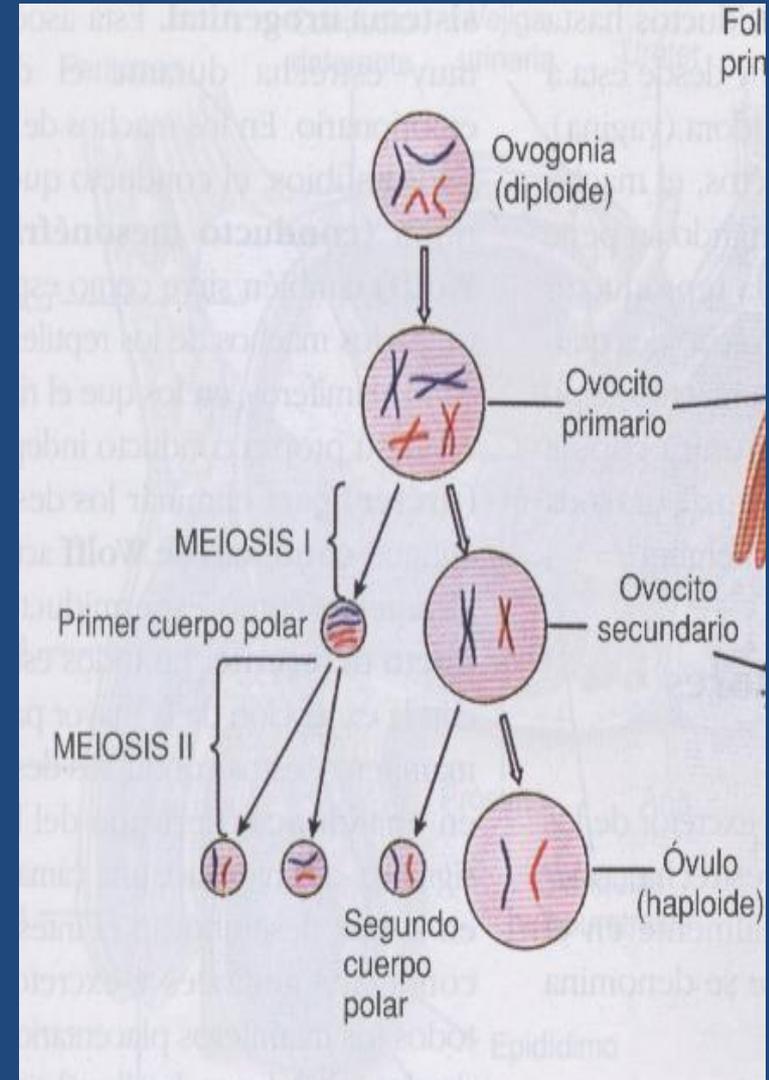
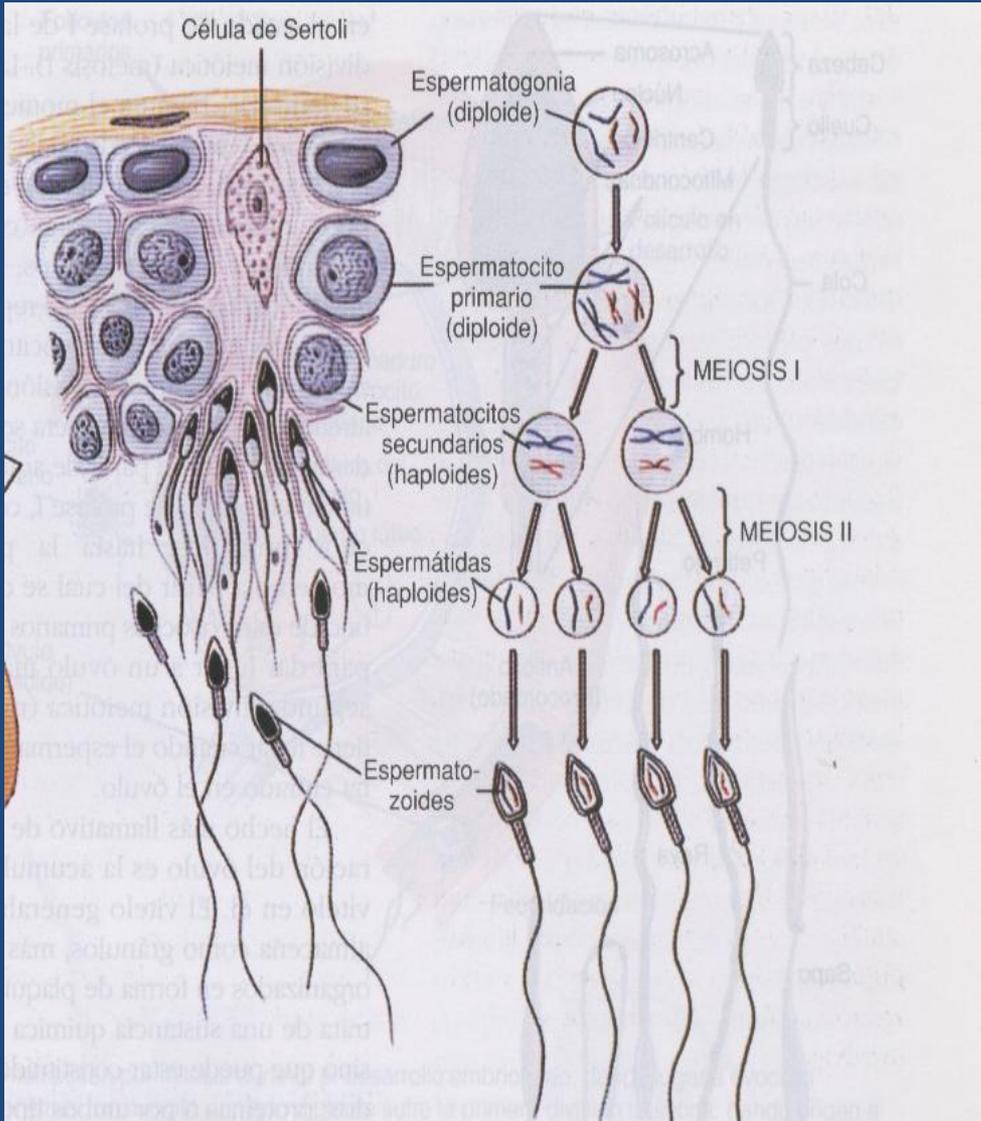
1. Esperma

eliminación de citoplasma
compactación del núcleo

REPASANDO LA FORMACIÓN DE GAMETAS

Espermatogénesis

Ovogénesis



EL EMBRIÓN COMIENZA CON LA UNIÓN DE DOS GAMETAS... AUNQUE A VECES NO

Desarrollo sin fecundación – partenogénesis

desarrollo normal sin fecundación

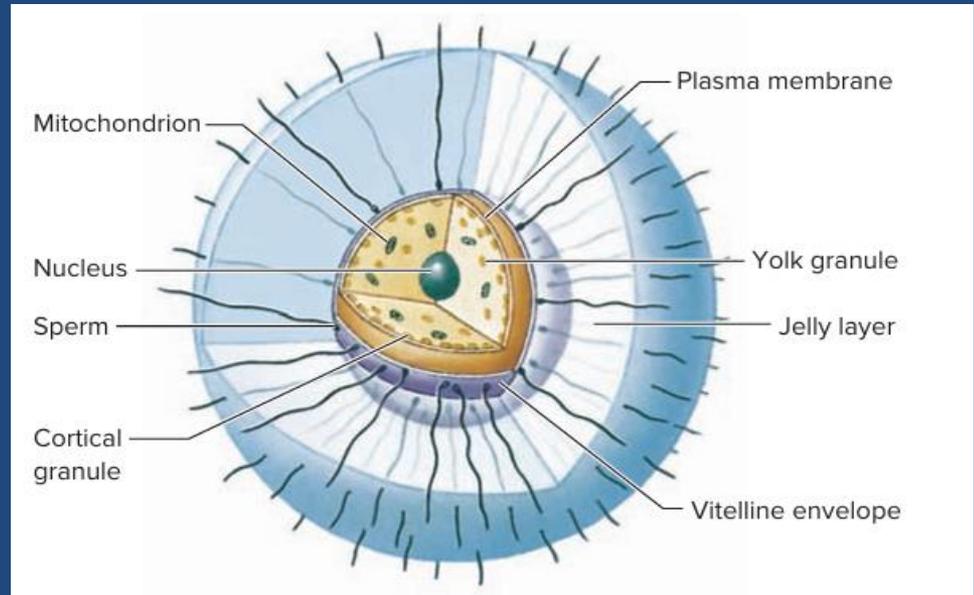
esperma activa Desarrollo pero no contribuye
material genético

fusiones nucleares durante la oogénesis

ERIZO DE MAR COMO MODELO

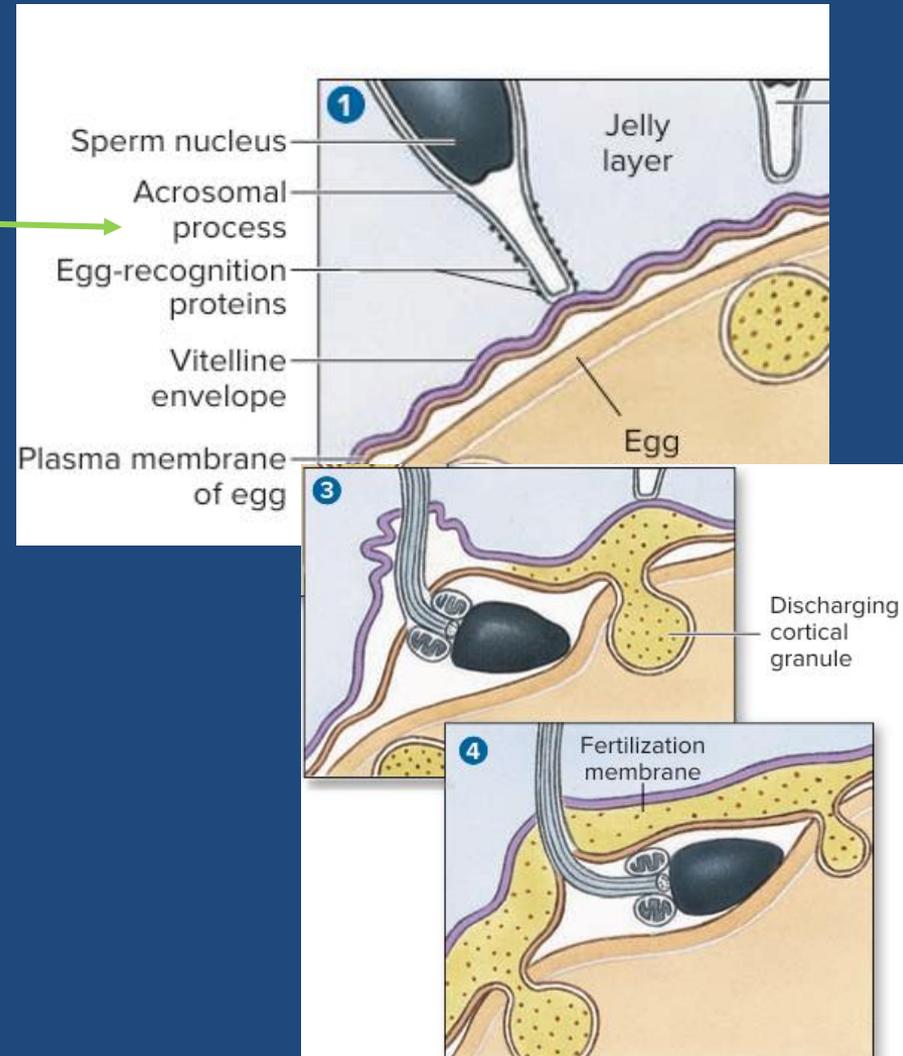
Experimentación
mayoritariamente realizada en
erizos de mar (y otros
invertebrados marinos)

Más recientemente: ratones,
hamsters y conejos



SECUENCIA (RESUMIDA)

1. Contacto/reconocimiento
Ovulo/Espzoide (F! **externa**
o interna)
2. Prevención polispermia
bloqueo rápido vs bloqueo
permanente
3. **Fusión de pronúcleos y
activación huevo**



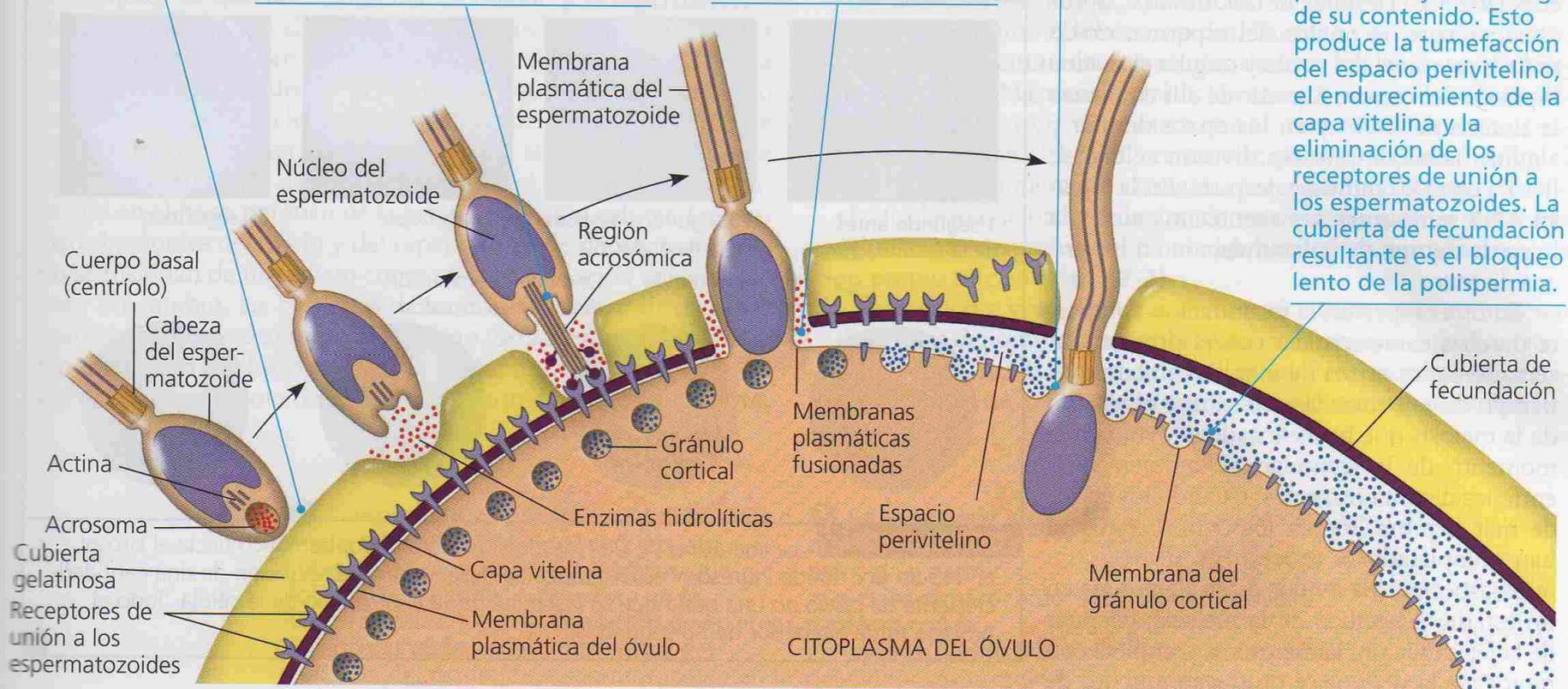
1 Contacto. El espermatozoide entra en contacto con la cubierta gelatinosa del óvulo y desencadena la exocitosis del contenido del acrosoma del espermatozoide.

2 Reacción acrosómica. Las enzimas hidrolíticas liberadas desde el acrosoma crean un orificio en la cubierta gelatinosa a la vez que se desarrollan filamentos de actina para formar el proceso acrosómico. Esta estructura sobresale de la cabeza del espermatozoide y penetra en la cubierta gelatinosa para unirse con receptores en la membrana del óvulo que se extienden a través de la capa vitelina.

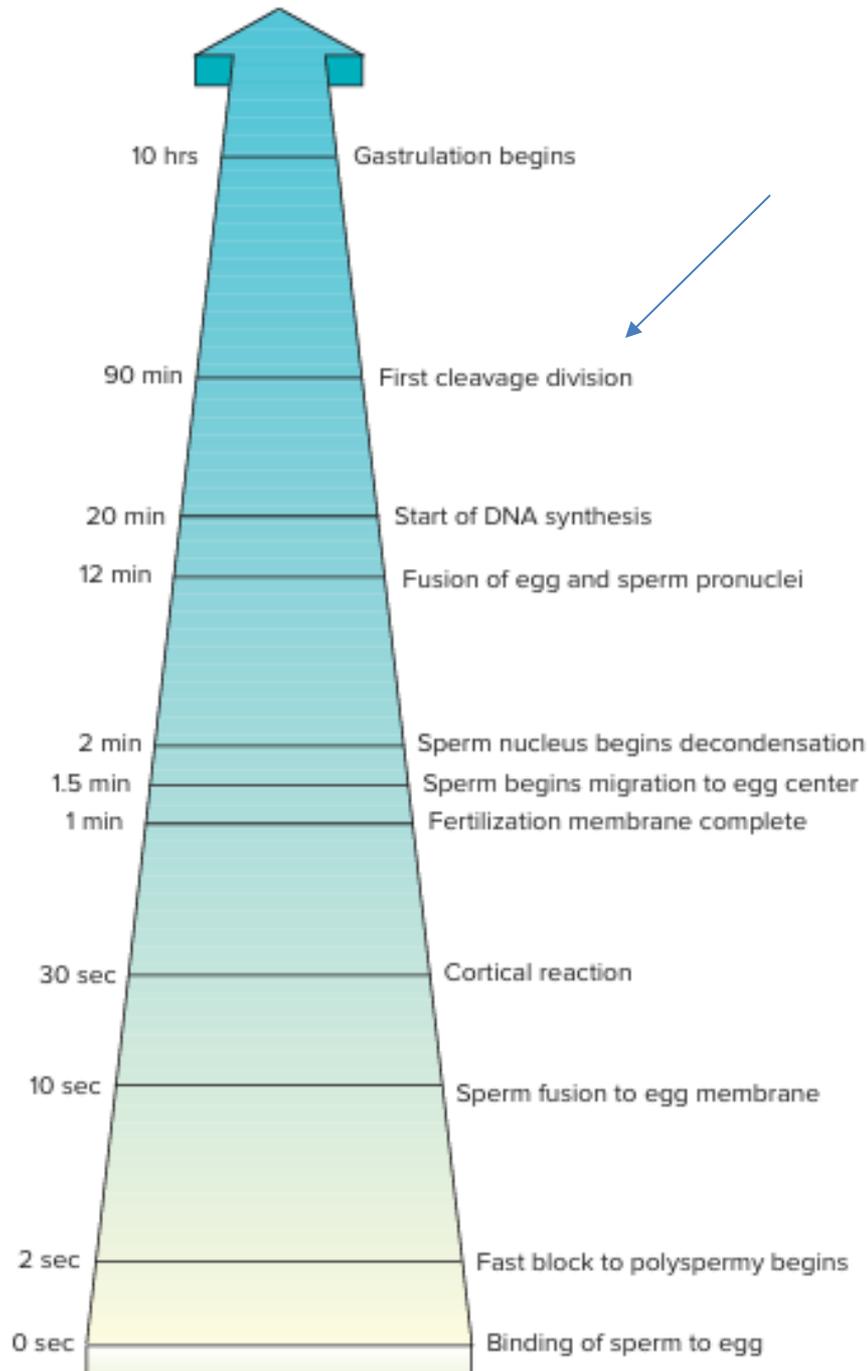
3 Contacto y fusión de las membranas del espermatozoide y del óvulo. Se forma un orificio en la capa vitelina que permite el contacto y la fusión de las membranas plasmáticas de los gametos. La membrana se despolariza y determina un bloqueo rápido de la polispermia.

4 Entrada del núcleo del espermatozoide.

5 Reacción cortical. La fusión de las membranas de los gametos desencadena un aumento de la concentración de Ca^{2+} en el citosol del óvulo, lo que determina la fusión de los gránulos corticales del óvulo con la membrana plasmática y la descarga de su contenido. Esto produce la tumefacción del espacio perivitelino, el endurecimiento de la capa vitelina y la eliminación de los receptores de unión a los espermatozoides. La cubierta de fecundación resultante es el bloqueo lento de la polispermia.



▲ Fig. 47-3. Reacciones acrosómica y cortical durante la fecundación del erizo de mar. Los acontecimientos que se producen después del contacto de un solo espermatozoide con un óvulo garantizan que el núcleo de un solo espermatozoide ingrese en el citoplasma del óvulo.



Supresión de inhibidores metabólicos

Síntesis de DNA y proteínas, agilizado por la alta cantidad de mRNA del citoplasma

mRNA maternal: actina y tubulina

Preparación para la segmentación

Segmentación: secuencia ordenada de divisiones celulares – formación de **blastómeros**



Acumulación de vitelo puede generar polaridad en el embrión

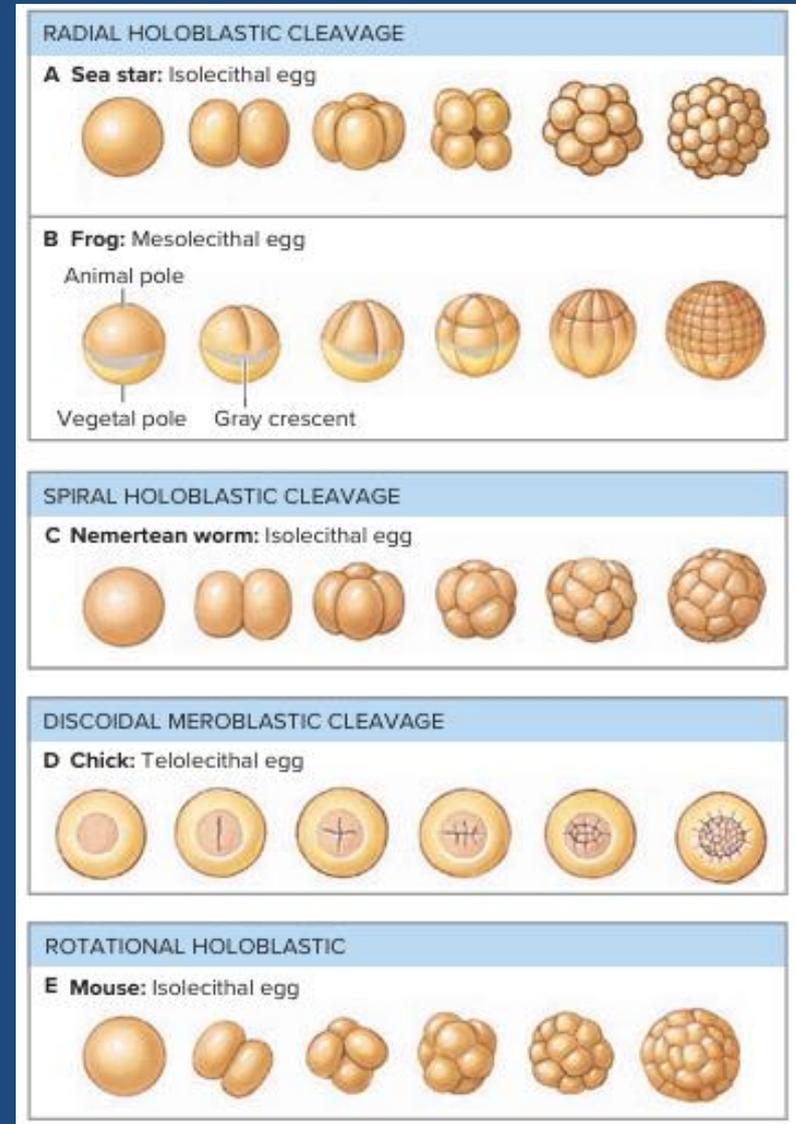
PATRONES DE SEGMENTACIÓN ASOCIADOS A DISTRIBUCIÓN DE VITelo

Isolecíticos : poco vitelo, distribución homogénea

Mesolecíticos : vitelo acumulado en un polo

Telolecíticos : abundante vitelo acumulado en un polo

HOLO vs MERObástico

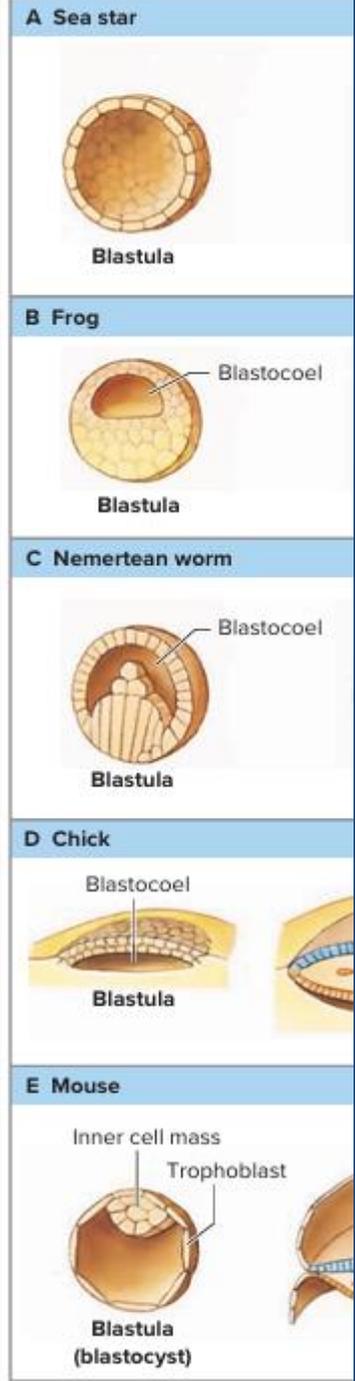


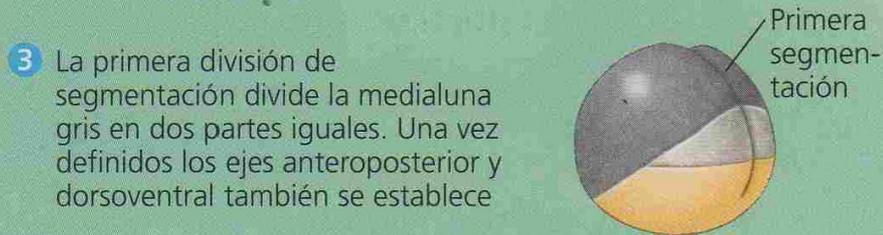
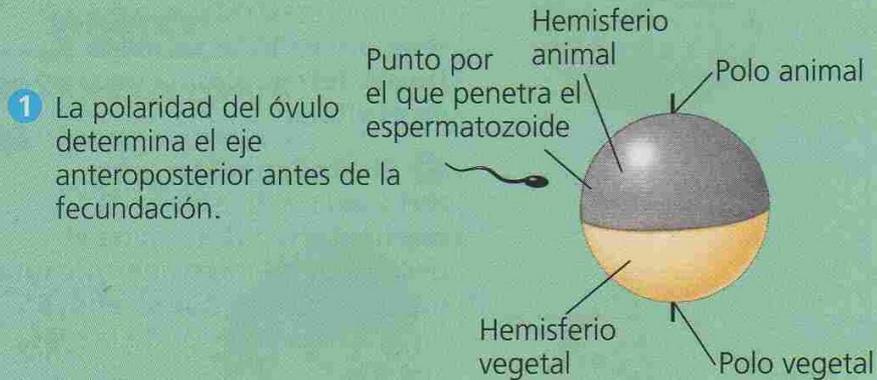
LOS BLASTÓMEROS CONFORMAN LA BLÁSTULA

Capa de células rodeando una cavidad interna:

blastocoele

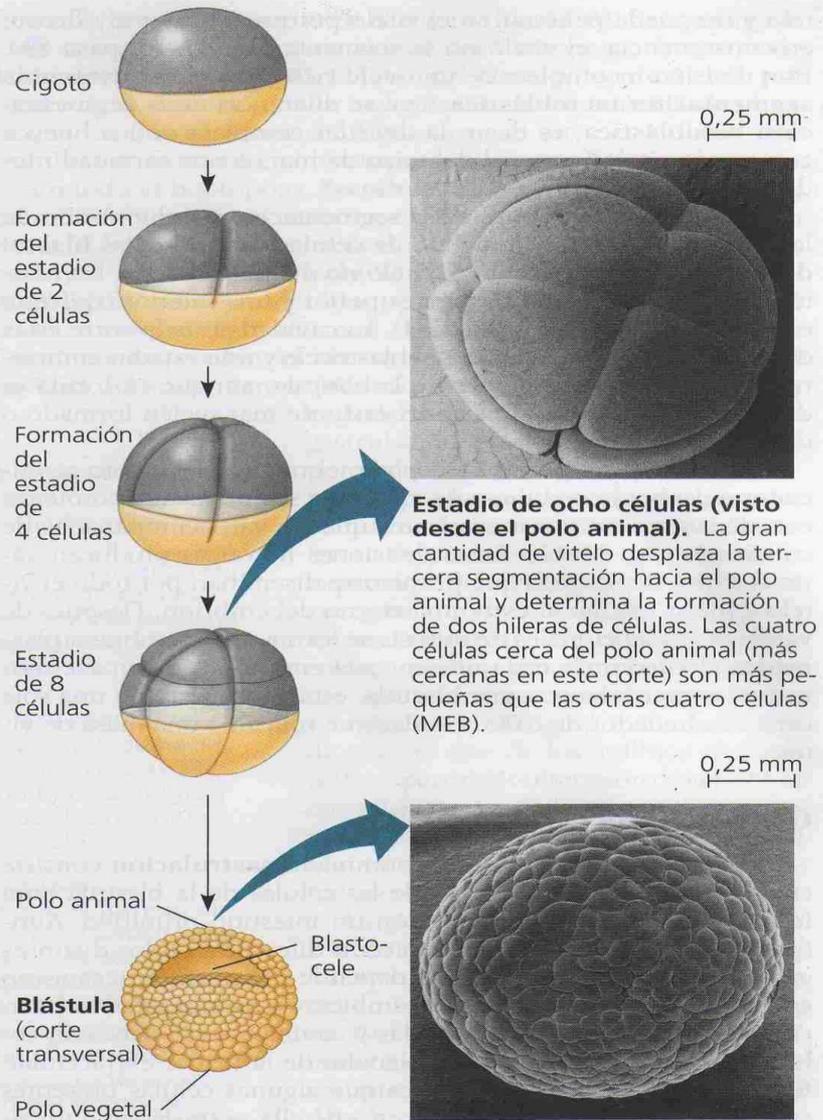
Tejido germinal: animales diblásticos y triblásticos





(b) **Establecimiento de los ejes.** La polaridad del óvulo y la rotación cortical son cruciales para establecer los ejes

▲ **Fig. 47-8. Ejes corporales y su establecimiento en un anfibio.** Los tres ejes corporales se establecen antes de que comience la segmentación del cigoto.



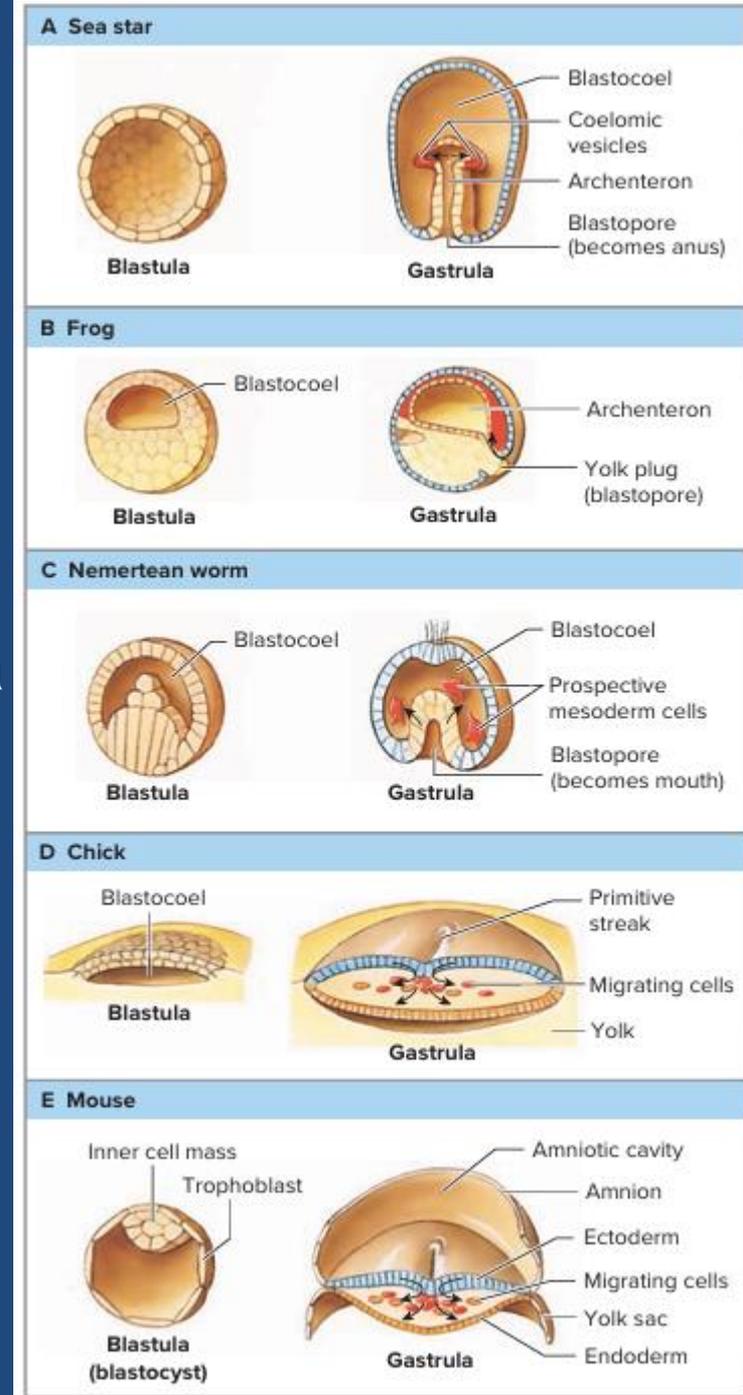
Blástula (por lo menos 128 células). A medida que continúa la segmentación, se forma una cavidad llena de líquido, el blastocele, dentro del embrión. Debido a la división celular desigual secundaria a la gran cantidad de vitelo presente en el hemisferio vegetal, el blastocele se ubica en el hemisferio animal, como se muestra en el corte transversal. La MEB muestra la superficie exterior de una blástula con alrededor de 4 000 células a nivel del polo animal.

GASTRULACION: FORMACIÓN DE CAPAS GERMINALES

Blástula se convierte en un embrión de dos o tres tejidos germinales

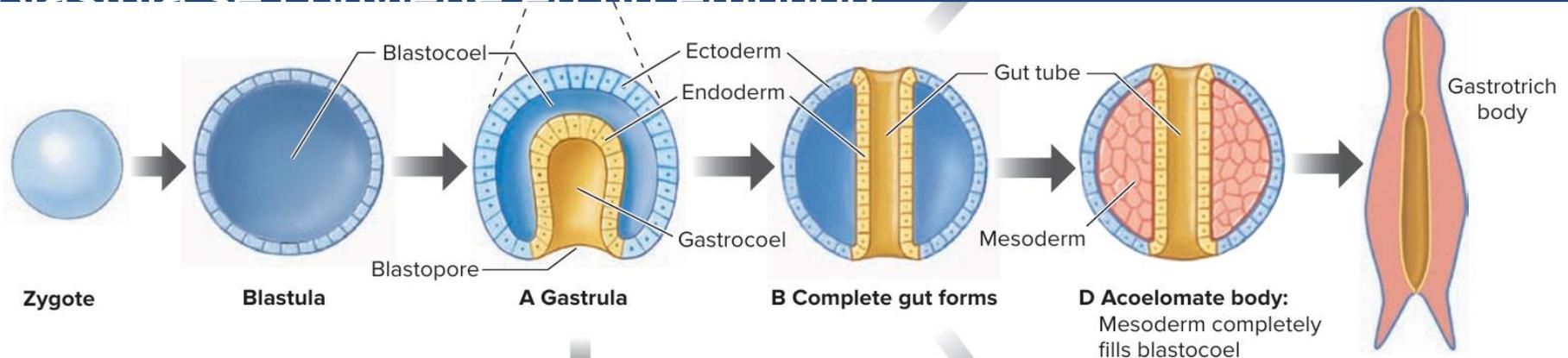
Una sección de la blástula se invagina hasta 1/3 del blastocele, generando una cavidad y una apertura

arquenterón (o gastrocele)
blastoporo



GASTRULACION: FORMACIÓN DE CAPAS GERMINALES

Blástula se convierte en un embrión



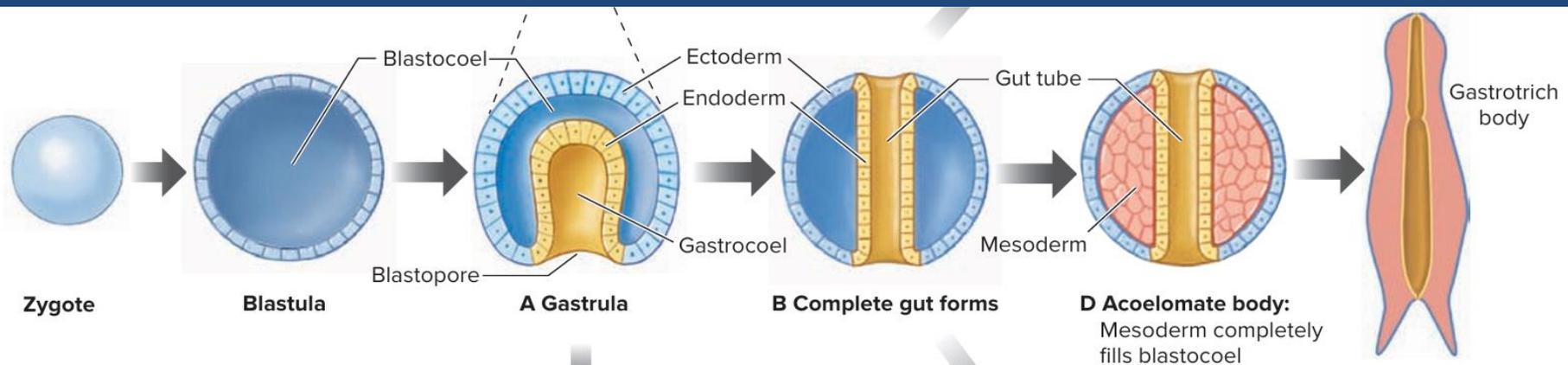
arquenterón (o gastrocele)
blastoporo

GASTRULACION: FORMACIÓN DE CAPAS GERMINALES

Inicialmente, dos tejidos germinales:

capa de células externas recubriendo el *blastocoele*
ectodermo

capa de células interna recubriendo el *gastrocele*
endodermo

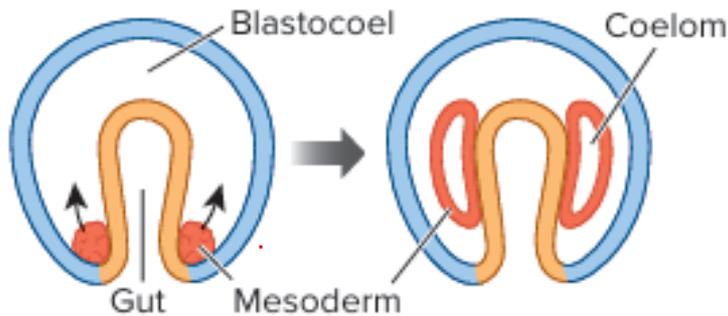


MESODERMO: DOS MECANISMOS DE FORMACIÓN

1. Proliferación de células cercanas al exterior del blastoporo (blastómeros 4D) hacia dentro del blastocele

2. Evaginación del arquenterón hacia dentro del blastocele

~~4 Coelom forms by splitting (schizocoelous)~~



~~4 Coelom forms by outpocketing (enterocoelous)~~

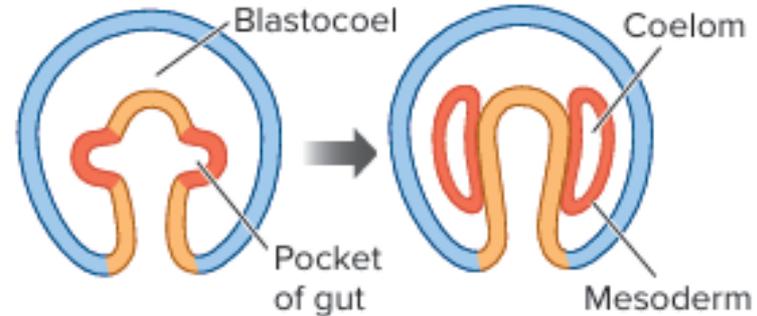


Figure 8.18 Developmental tendencies of lophotrochozoan protostomes (flatworms, annelids, molluscs, etc.) and deuterostomes. These tendencies are much modified in some groups, for example, vertebrates. Cleavage in mammals is rotational rather than radial; in reptiles, birds, and many fishes, cleavage is discoidal. Vertebrates have also evolved a derived form of coelom formation that is basically schizocoelous.

MESODERMO: DOS MECANISMOS DE FORMACIÓN

En la gastrula:

Ectodermo : recubre el embrión

Mesodermo : crece hacia dentro del blastocele

Endodermo : recubre el arquenterón

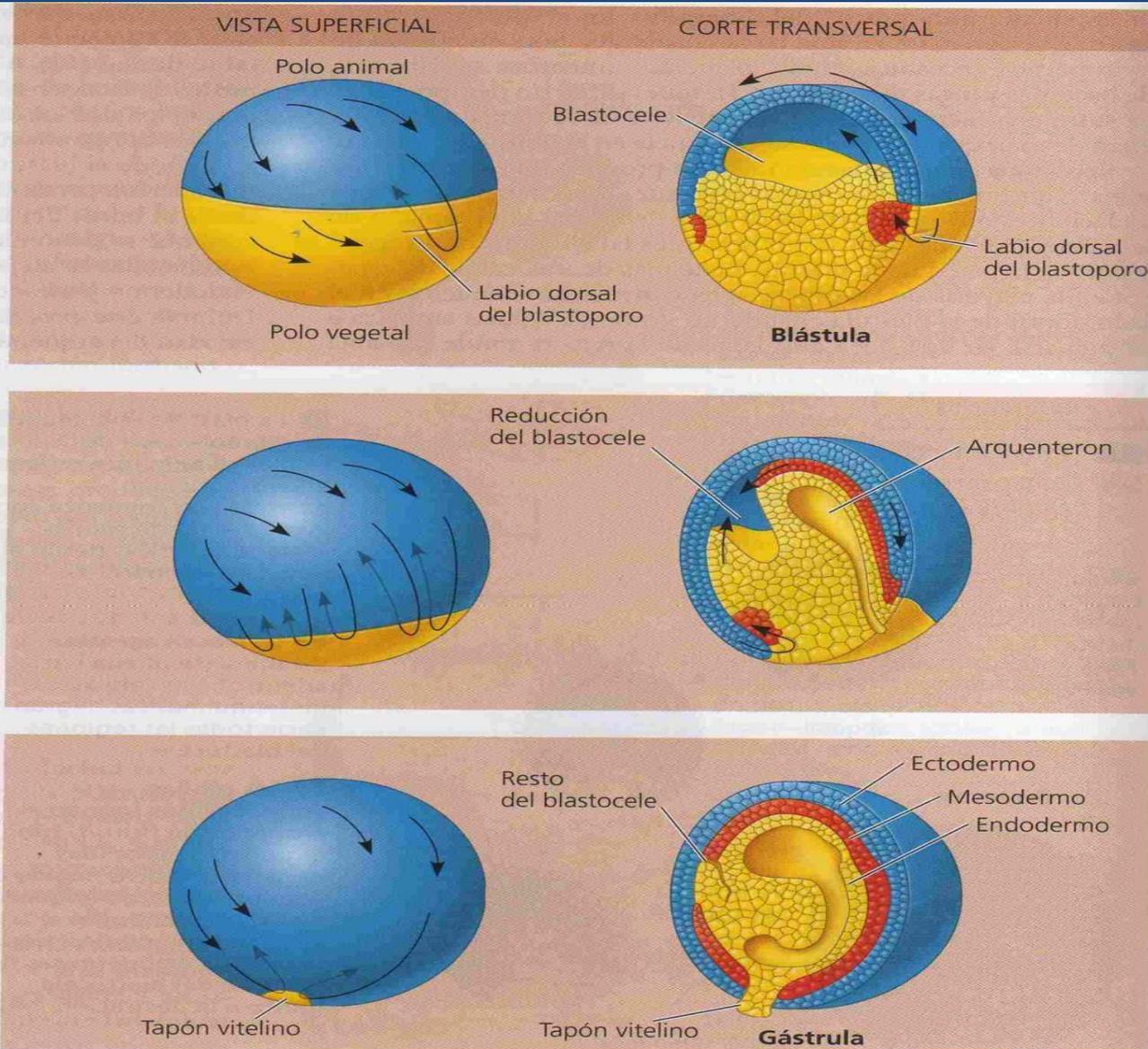
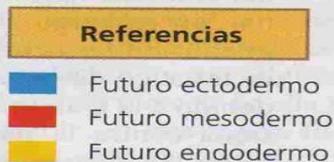
Define posiciones de las células e interacciones celulares que irán a definir el plan corporal

Gastrulación en anfibios

1 La gastrulación comienza con un pequeño pliegue irregular, el labio dorsal del blastoporo, que aparece en una de las caras de la blástula. El pliegue está formado por células que cambian de forma y ejercen tracción hacia dentro desde la superficie (invaginación). Luego, otras células movilizan el labio dorsal hacia dentro (involución) y se mueven hacia el interior, donde forman el endodermo y el mesodermo. Mientras tanto, las células del polo animal, que representa el futuro ectodermo, cambian de forma y empiezan a diseminarse sobre la superficie externa.

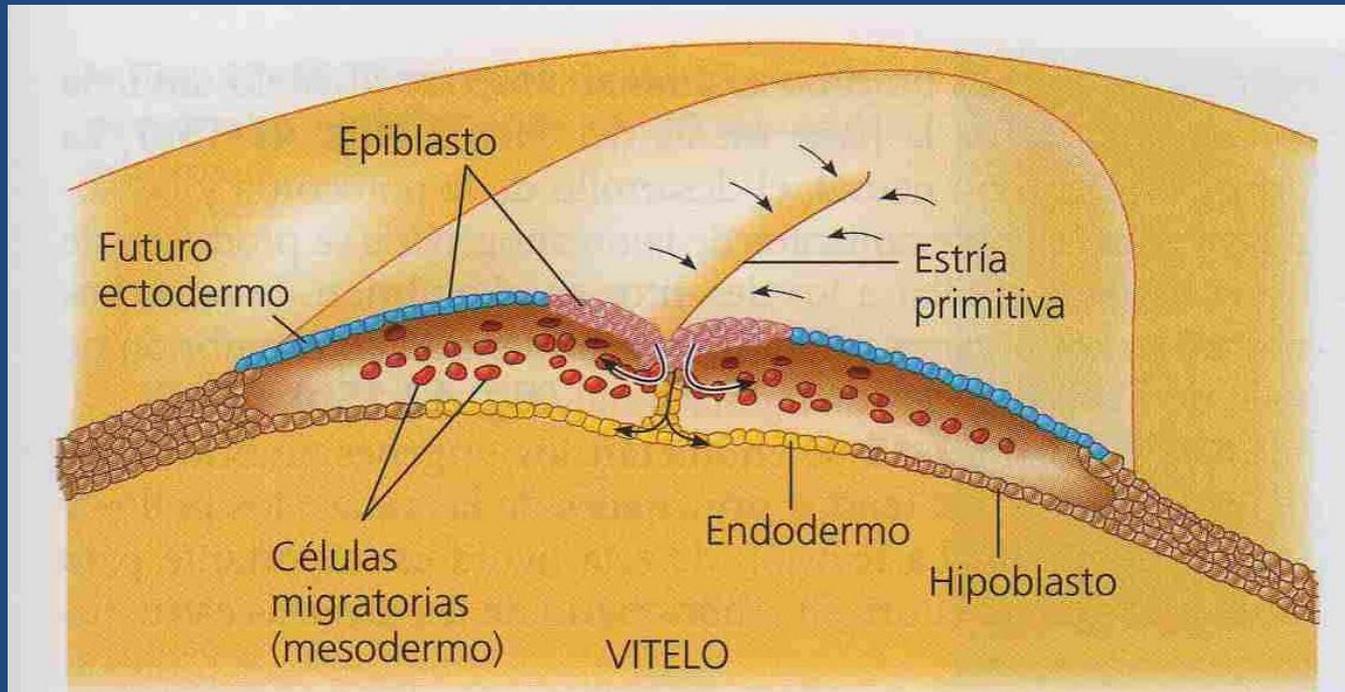
2 El labio del blastoporo crece sobre ambas caras del embrión debido a la invaginación de células adicionales. Cuando los dos lados del labio se encuentran, el blastoporo forma un círculo que disminuye de tamaño a medida que el ectodermo descende sobre la superficie. En la región interna, la involución continua expande el endodermo y el mesodermo y empieza a constituirse el arquenteron; como consecuencia, el blastocele se reduce.

3 En un momento tardío de la gastrulación, el arquenteron cubierto de endodermo reemplaza todo el blastocele y las tres capas germinales están en su sitio. El blastoporo circular rodea a un tapón de células llenas de vitelo.



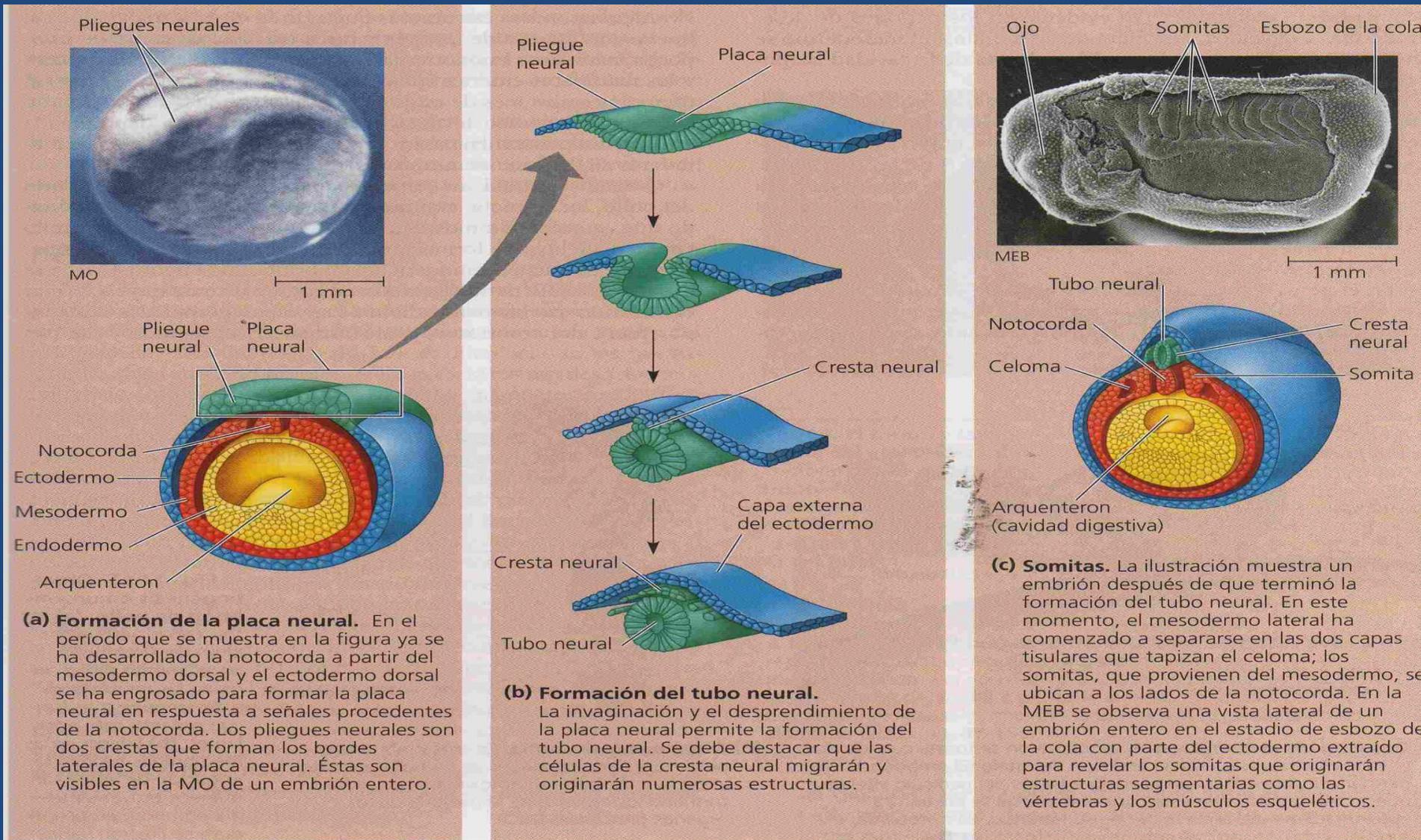
▲ Fig. 47-12. Gastrulación de un embrión de rana. En la blástula de la rana el blastocele se desplaza hacia el polo

Gastrulación en embrión de pollo



▲ **Fig. 47-13. Gastrulación de un embrión de pollo.** Durante la gastrulación, algunas células del epiblasto migran (flechas) hacia el interior del embrión a través de la estría primitiva, que se ilustra en la figura en el corte transversal. Algunas de estas células descienden para formar el endodermo, mientras que otras migran hacia los lados para constituir el mesodermo. Las células restantes que quedan en la superficie del embrión al final de la gastrulación se convierten en ectodermo.

Cresta neural da origen a ciertas estructuras (exclusivas de vertebrados)



▲ Fig. 47-14. Organogénesis temprana en un embrión de rana.

CELOMA: CAVIDAD DEL MESODERMO

1. Esquizocelomados:
apertura secundaria en el
mesodermo

1. Enterocelomados: apertura
primaria en el mesodermo

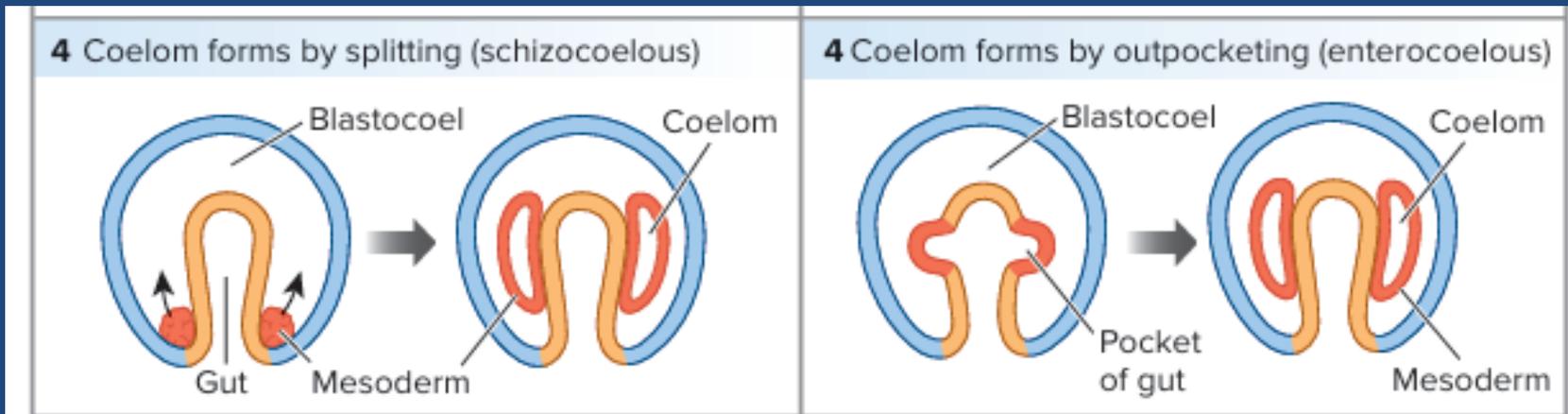


Figure 8.18 Developmental tendencies of lophotrochozoan protostomes (flatworms, annelids, molluscs, etc.) and deuterostomes. These tendencies are much modified in some groups, for example, vertebrates. Cleavage in mammals is rotational rather than radial; in reptiles, birds, and many fishes, cleavage is discoidal. Vertebrates have also evolved a derived form of coelom formation that is basically schizocoelous.

CELOMA: CAVIDAD DEL MESODERMO

Gástrula con tres tejidos germinales (a veces dos) y dos cavidades internas – el celoma crece hasta ocupar completamente el blastocele

Todas las estructuras adultas derivan de los tres tejidos germinales y los órganos internos se alojan en o sobre el celoma

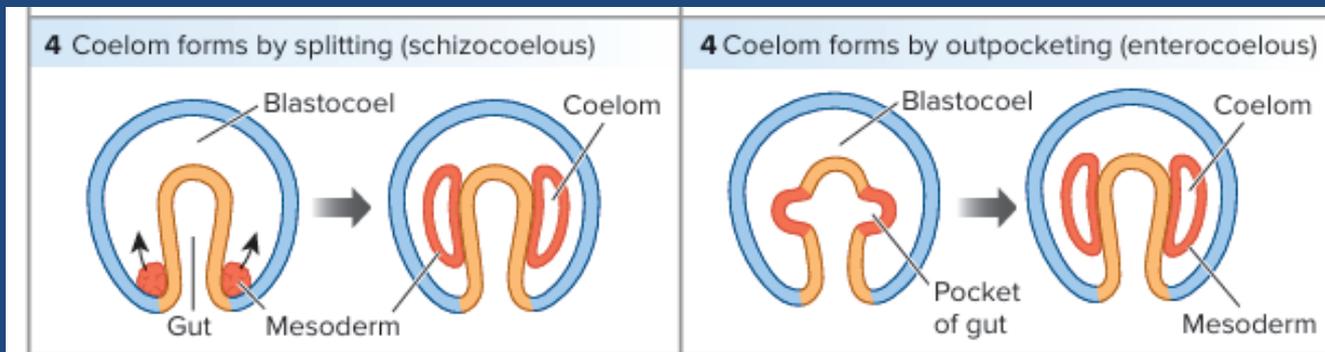
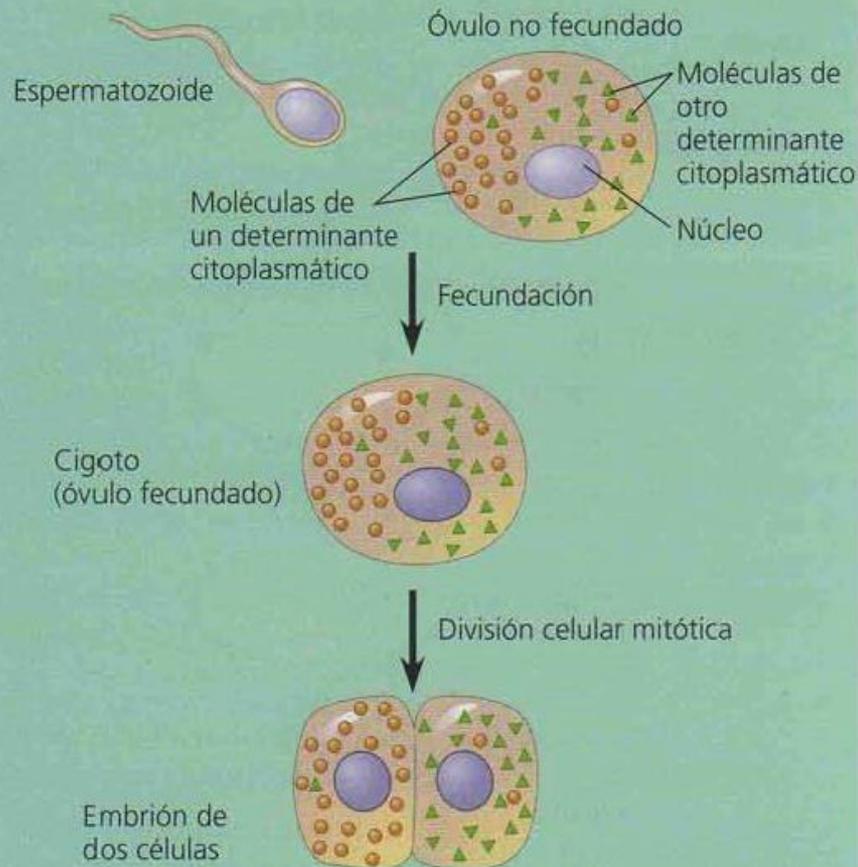


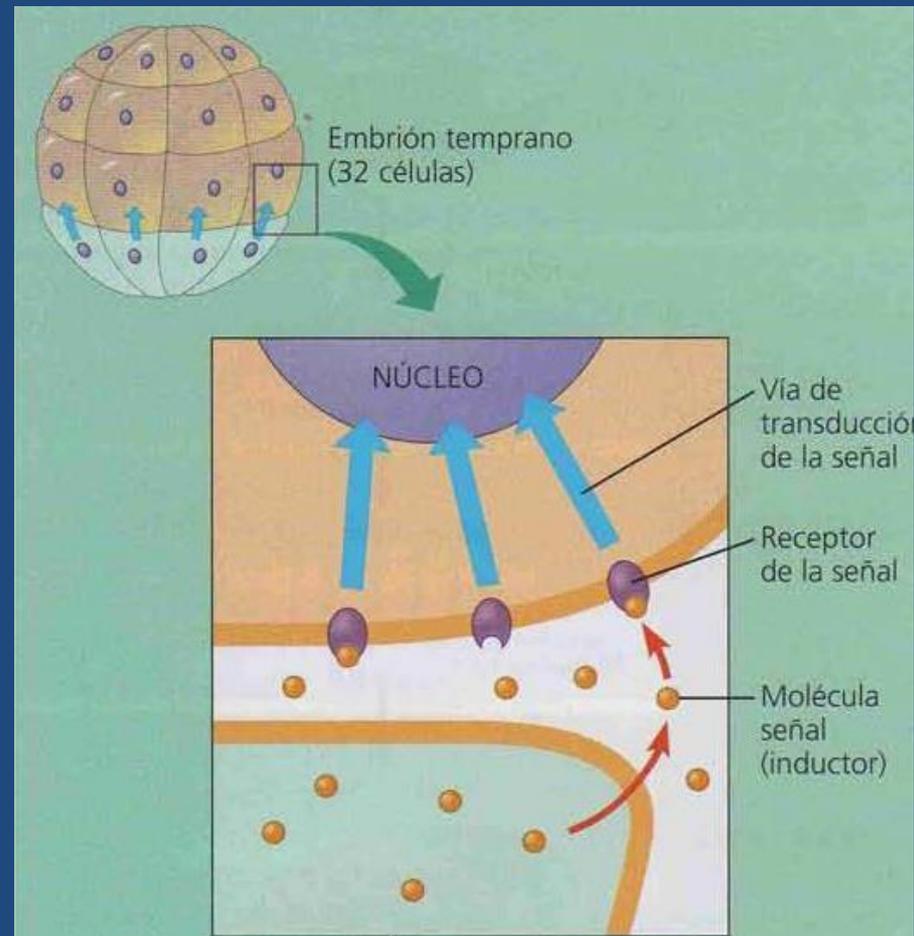
Figure 8.18 Developmental tendencies of lophotrochozoan protostomes (flatworms, annelids, molluscs, etc.) and deuterostomes. These tendencies are much modified in some groups, for example, vertebrates. Cleavage in mammals is rotational rather than radial; in reptiles, birds, and many fishes, cleavage is discoidal. Vertebrates have also evolved a derived form of coelom formation that is basically schizocoelous.

CONTROL DE LA MORFOGÉNESIS

Determinantes citoplasmáticos (o determinación autónoma)



Inducción activada por células vecinas



MECANISMOS DE DESARROLLO

Inducción (señales intercelulares)

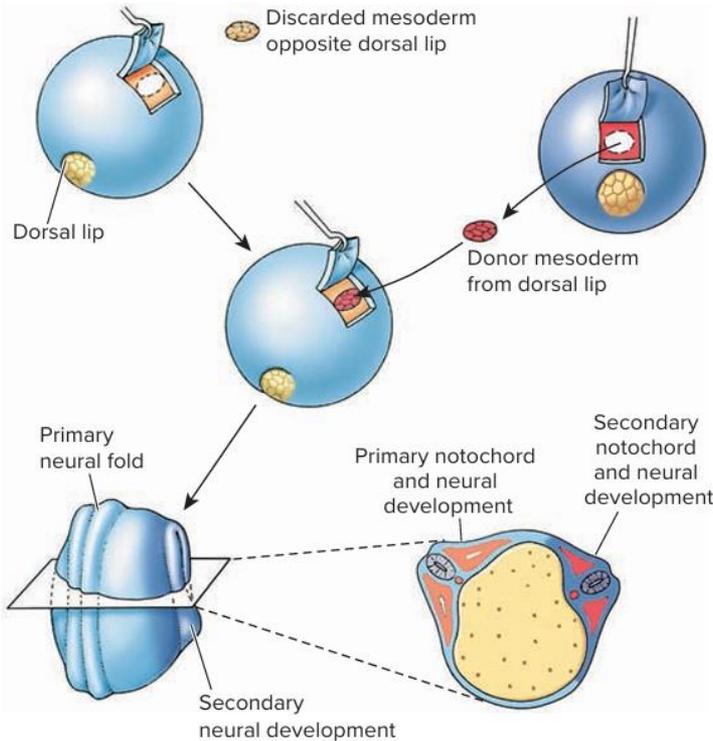


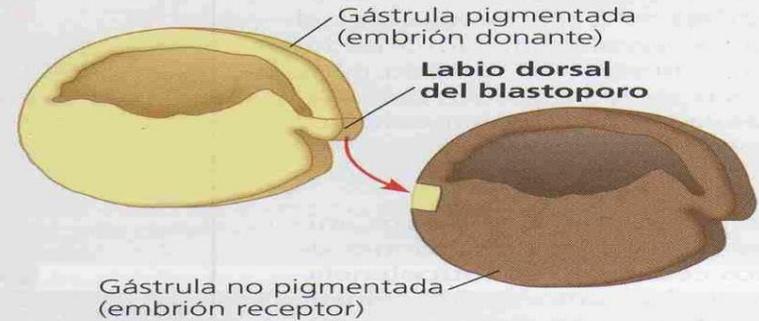
Figure 8.13 The Spemann-Mangold primary organizer experiment. The host animal was not pigmented, but the donor animal was darkly pigmented, so the tissue source could be determined by color. See the chapter opening photo for the outcome of such an experiment.

Organizador primario

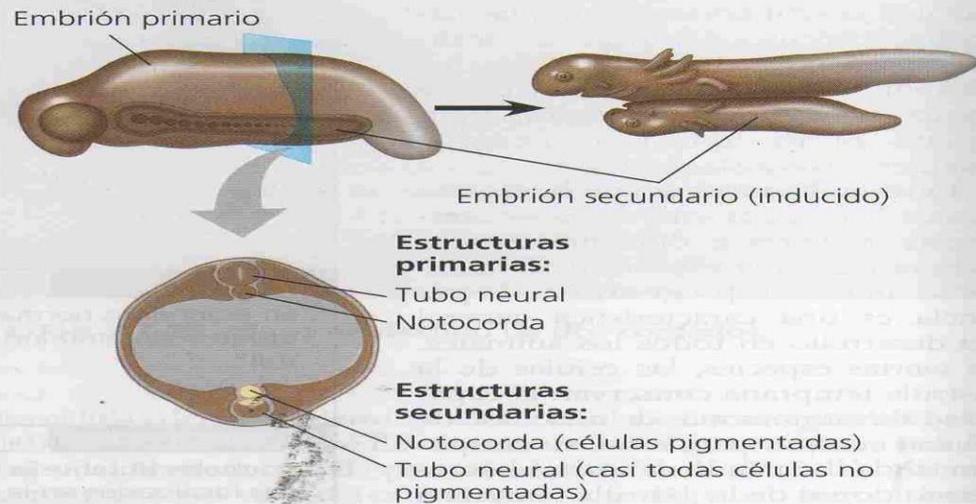
Figura 47-25

Investigación: ¿El labio dorsal del blastoporo puede inducir células en otra parte del embrión del anfibio a que modifiquen su destino en el desarrollo?

EXPERIMENTO Spemann y Mangold trasplantaron un fragmento del labio dorsal de una gástrula pigmentada de tritón en la cara ventral de la gástrula temprana de un tritón no pigmentado.

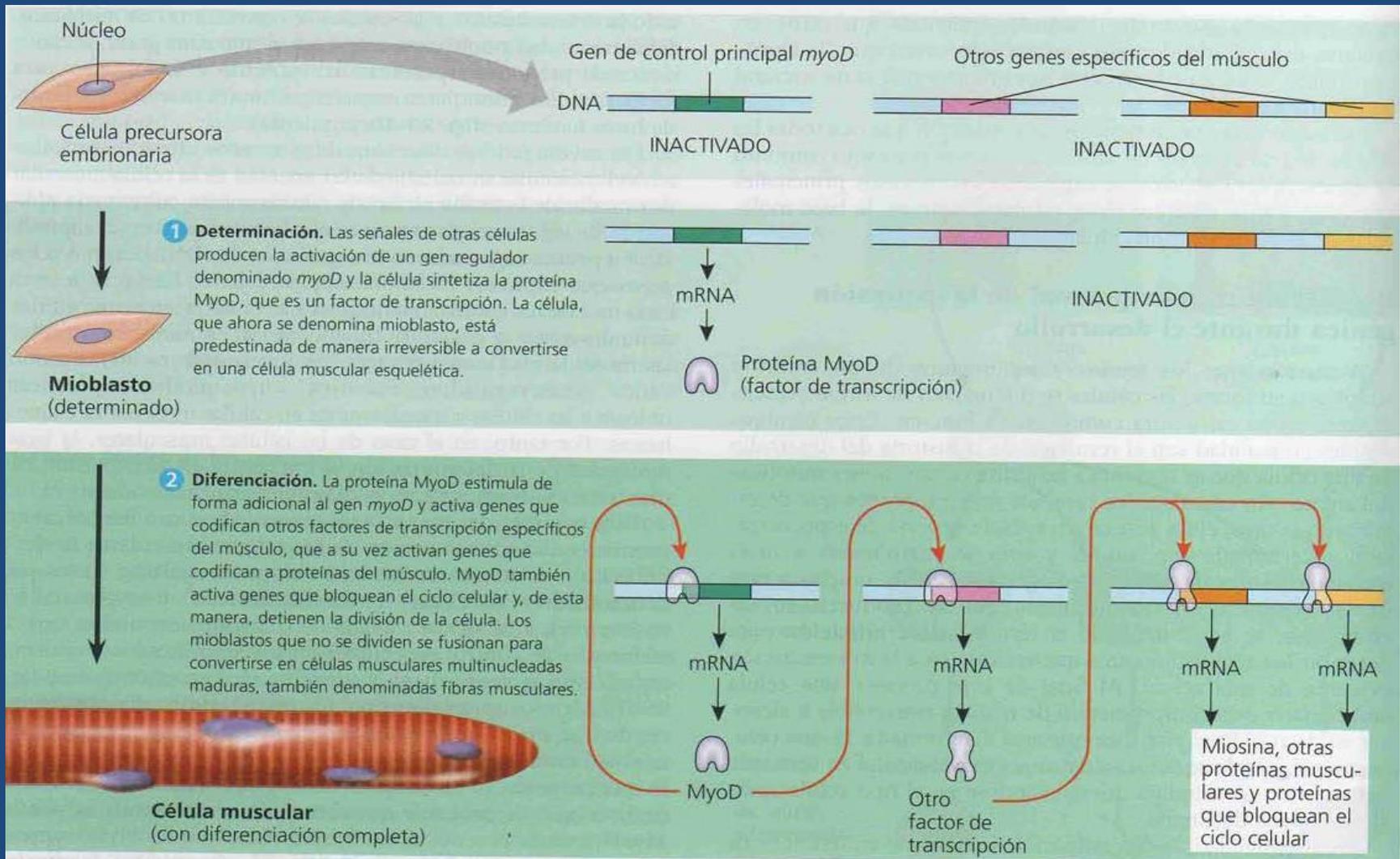


RESULTADOS Durante el desarrollo, el embrión receptor formó una segunda notocorda y un segundo tubo neural en la región trasplantada y, por último, la mayor parte de un segundo embrión. El examen del interior del embrión doble reveló que las estructuras secundarias se formaron en parte a partir de tejido del huésped.



CONCLUSIÓN El labio dorsal trasplantado fue capaz de inducir a las células en una región diferente del receptor para que formara estructuras distintas a las que correspondían de acuerdo con su destino normal. De hecho, el labio dorsal "organizó" el desarrollo de un embrión completo.

El resultado de la determinación (diferenciación celular observable) depende de la expresión de genes para *proteínas específicas de cada tejido*



MECANISMOS DE DESARROLLO

Desarrollo regulador y desarrollo en mosaico

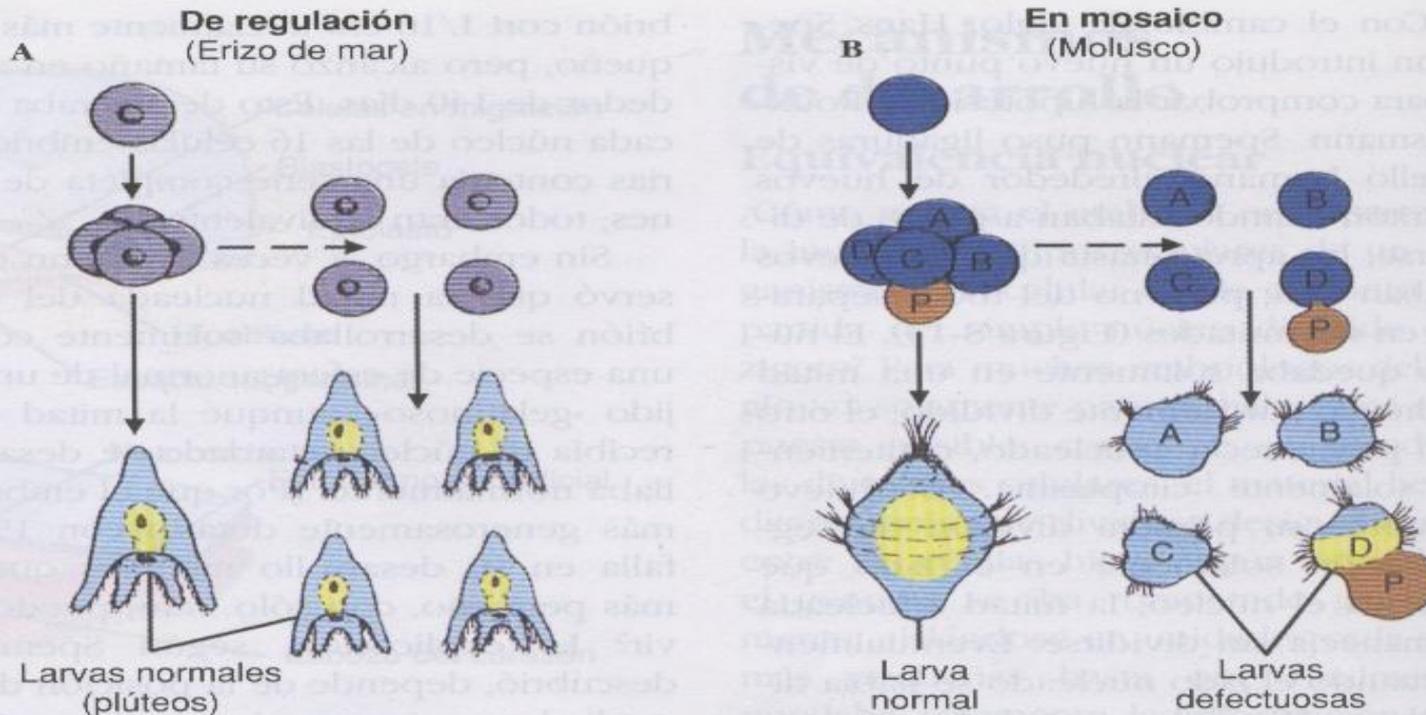


Figura 8-14

Desarrollos regulados y en mosaico. **A**, Desarrollo regulador. Cada uno de los blastómeros iniciales (como los del erizo de mar), cuando se separa de los demás, forma una pequeña larva plúteo. **B**, Desarrollo en mosaico. En un molusco, cuando los blastómeros se separan, cada uno da lugar a una parte del embrión. El mayor tamaño de algunas de las larvas defectuosas es debido a la formación de un lóbulo polar (P) compuesto de citoplasma del polo vegetativo, que recibe únicamente este blastómero.

Especificación citoplasmática y determinantes morfogénéticos

GENES HOX

Genes homeóticos (Secuencia Homeótica): 180 nucleótidos AND

Homeodominio: secuencia fija de 60 aminoácidos)

Genes homeóticos
Sinapomorfía de metazoos

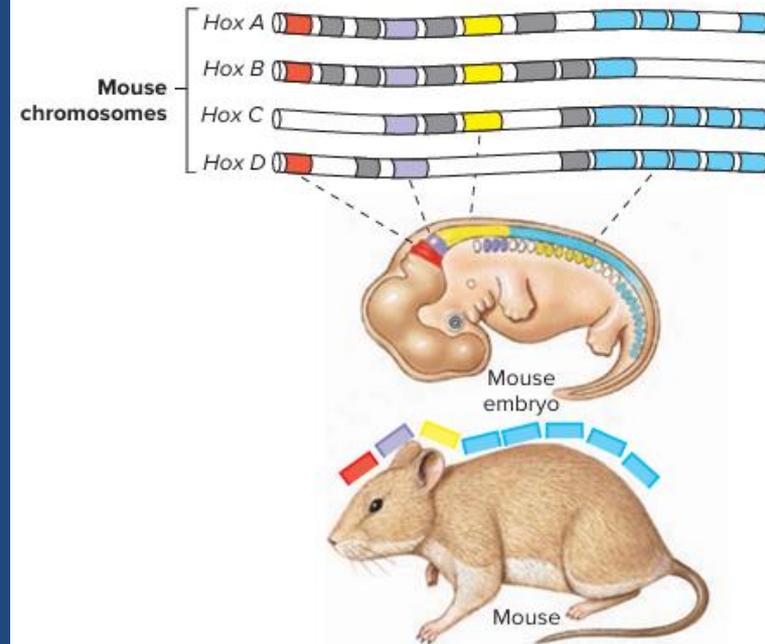
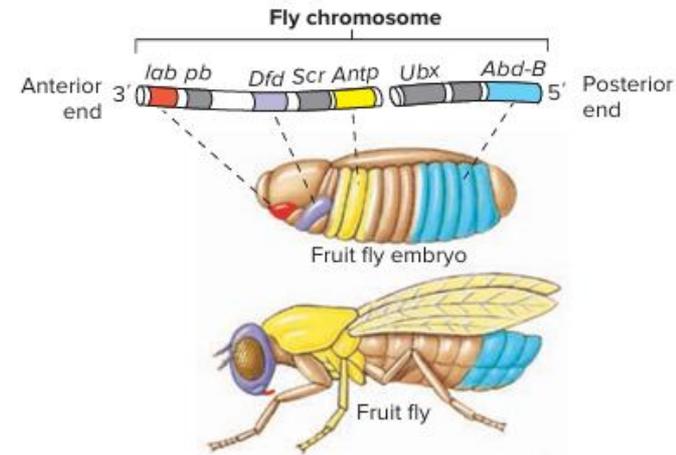


Figure 8.15 Homology of *Hox* genes in insects and mammals. These genes in both insects (fruit fly) and mammals (mouse) control the subdivision of the embryo into regions of different developmental fates along the anterior-posterior axis. The homeobox-containing genes lie on a single chromosome of the fruit fly and on four separate chromosomes in the mouse. Clearly defined homologies between the two, and the parts of the body in which they are expressed, are shown in color. The open boxes denote areas where it is difficult to identify specific homologies between the two. The *Hox* genes shown here are only a small subset of all the homeobox genes.

SEGMENTACIÓN Y PRIMERAS FASES DEL DESARROLLO

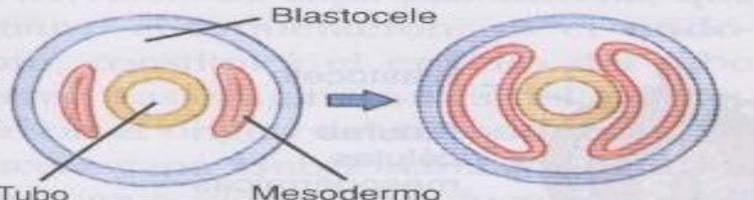
PROTÓSTOMO	DEUTERÓSTOMO
<p>1 El blastoporo da lugar a la boca, el ano se forma secundariamente</p> 	<p>1 El blastoporo da lugar al ano, la boca se forma secundariamente</p> 
<p>2 Segmentación espiral</p> 	<p>2 Segmentación radial</p> 
<p>3 El celoma se forma por ahuecamiento (esquizocelia)</p> 	<p>3 El celoma se forma por evaginaciones (enterocelia)</p> 
<p>4 Embrión en mosaico</p> 	<p>4 Embrión regulador</p> 

Figura 8-9

Tendencias del desarrollo en protóstomos y deuteróstomos. Estas tendencias están muy modificadas en algunos grupos, como los vertebrados. La segmentación en los mamíferos es rotacional, antes que radial; en los reptiles, las aves y muchos peces, la segmentación es discoidal. Los vertebrados también han desarrollado un mecanismo derivado de formación del celoma, que es básicamente esquizocélico.

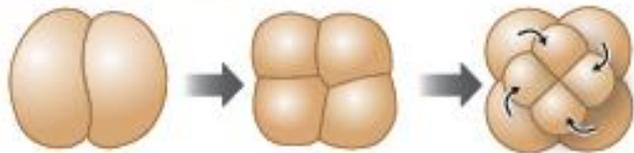
SE

LO

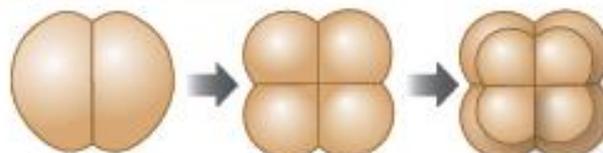
LOPHOTROCHOZOAN PROTOSTOME

DEUTEROSTOME

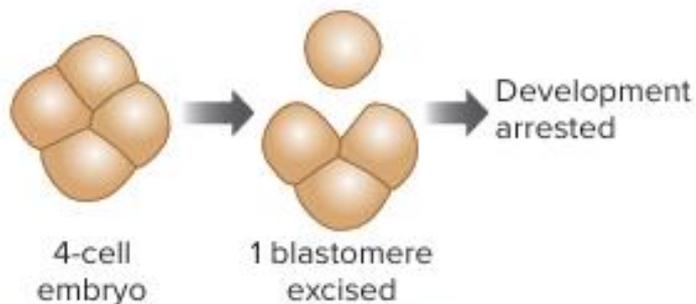
1 Spiral cleavage (top down view)



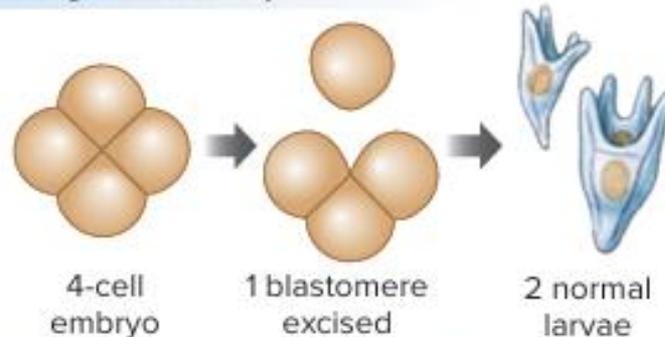
1 Radial cleavage (top down view)



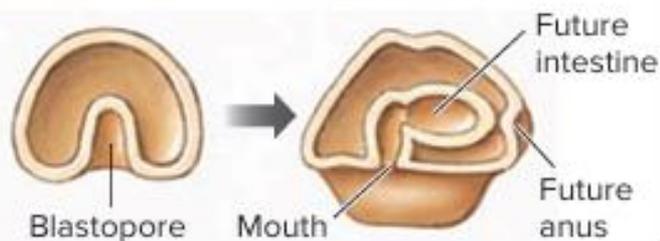
2 Mosaic embryo



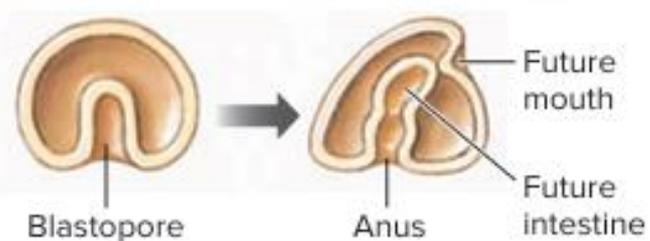
2 Regulative embryo



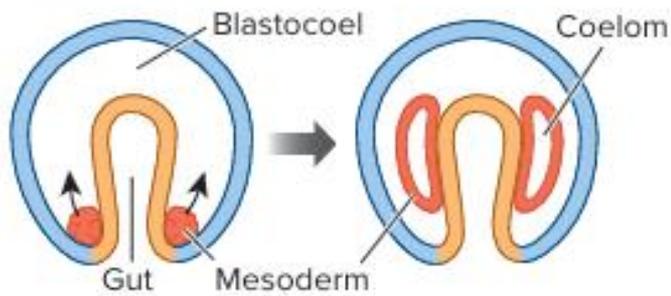
3 Blastopore becomes mouth, anus forms secondarily



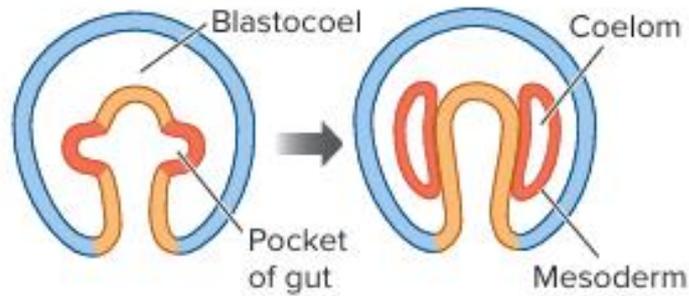
3 Blastopore becomes anus, mouth forms secondarily



4 Coelom forms by splitting (schizocoelous)



4 Coelom forms by outpocketing (enterocoelous)

1 El bla
secu

2 Segn

3 El ce

Tul
dige

4 Embr

Em
4

Figur

Tender
modific
rotacio
discoi
celoma

ma

futura
locafuturo
intestinoprocelia)
Celoma

sodermo

as
les

ses

n del

Organogénesis. Derivados de las capas embrionarias

ECTODERMO

Epidermis de la piel

Recubrimiento de ano, boca y fosa nasal.

Glándulas sudoríparas y sebáceas.

Pelo, uñas, plumas, cuernos, algunas escamas, esmalte dentario.

Sistema nervioso (neuronas), incluyendo partes sensoriales de ojos, nariz y oído.

ENDODERMO

Recubrimiento del TD

Recubrimiento de las vías respiratorias y pulmones.

Partes secretoras del hígado y páncreas.

Tiroides, timo y paratiroides.

Vejiga urinaria.

Recubrimiento de la uretra.

MESODERMO

Esqueleto y músculos.

Dermis de la piel.

Escamas dérmicas.

Sistemas excretor y reproductor.

Tejido conjuntivo.

Sangre y vasos sanguíneos.

Mesenterios.

Recubrimiento del celoma.