

Unidad 2

Estructura básica

2.1. Organización jerárquica de la complejidad animal

Entre los diferentes grupos de organismos unicelulares y metazoarios se reconocen cinco grados principales de organización y cada grado es más complejo que el precedente, y esta construido de una manera jerárquica. Estos grados de organización son:

1. Grado protoplasmático de organización: este tipo de organización se encuentra en los organismos unicelulares (e.g., amebas, euglena, *Plasmodium*; Fig. 1). Todas las funciones vitales son desempeñadas por una única célula. Dentro de la célula existen organelas que realizan las funciones especializadas (e.g., mitocondrias → respiración; ribosomas → síntesis de proteínas; núcleo → controla las funciones de las otras organelas).
2. Grado celular de organización: este grado es simplemente una agregación de células que desempeñan funciones distintas (división del trabajo). No hay formación de tejidos (células organizadas que realizan funciones similares). Se presenta en algunos protozoarios como los volvocidos, donde se encuentran células somáticas (estructura del cuerpo y nutrición) y células reproductoras (Fig. 1). Los poríferos (esponjas; Fig. 1) son también un ejemplo de este tipo de organización. Las células no pueden vivir independientemente, pero no están organizadas.
3. Grado celular-tisular de organización: hay una agregación de células según patrones definidos, formando tejidos. Los cnidarios (hidras, medusas, pólipos coralinos, anemonas; Fig. 1) son el ejemplo mas basal de este tipo de organización. Aunque se mantienen algunas células dispersas en su parénquima, se presentan tejidos como la red nerviosa, donde las células nerviosas y sus prolongaciones tienen una auténtica estructura tisular, con funciones de coordinación.
4. Grado tisular-órganos de organización: el siguiente paso en la evolución animal fue la agregación de tejidos formando órganos. En muchos casos, los órganos están formados por más de un tejido. Esos órganos, por supuesto, desempeñan funciones más especializadas dado que pueden realizar funciones múltiples que una vez cumplieron los tejidos independientemente. Los platelmintos (planarias, trematodos, tenias; Fig. 1) son un grupo basal en este tipo de organización. Hay desarrollo de órganos fotosensibles, órganos reproductores, ganglios nerviosos, entre otros.
5. Grado órganos-sistemas de organización: en este nivel jerárquico se presenta una labor unificada de varios órganos para realizar determinadas funciones. Esos distintos órganos trabajando en conjunto componen sistemas funcionales. Estos sistemas están asociados con las funciones básicas del organismo (e.g., respiración, circulación, reproducción, digestión). Los gusanos nemertinos (Phylum Nemertea; Fig. 1) y los demás Phyla de invertebrados y vertebrados presentan este tipo de órganos. En Nemertea se encuentra un sistema digestivo completo separado del sistema circulatorio.

Complejidad y tamaño corporal

El tamaño corporal es una consideración importante en el diseño de los animales. Los grados más complejos de organización en metazoarios permiten y en alguna extensión, promueve la evolución de un tamaño corporal grande (Fig. 2). El tamaño grande trae varias consecuencias físicas y ecológicas importantes para un organismo. A medida que el animal se vuelve más grande, la **superficie corporal** incrementa mucho más lento que el **volumen corporal** porque la superficie incrementa como un producto del cuadrado de la longitud corporal (L^2), mientras que el volumen (y, por lo tanto, la masa corporal) incrementa tres veces la longitud corporal (L^3).

- En otras palabras, un animal grande tendrá menor área de superficie en relación a su volumen, respecto a la misma relación en un animal pequeño de la misma forma.

Consecuencias: el área superficial de un animal grande puede ser inadecuada para la respiración y la nutrición de las células, las cuales están muy profundas en el cuerpo. Entonces, hay dos posibles soluciones a este problema:

1. Una solución es plegar o invaginar la superficie corporal para incrementar el área superficial o aplanar el cuerpo en forma de cinta o de disco para que los espacios internos no estén alejados de la superficie. Esto es lo que hicieron los gusanos planos platelmintos.

- La ventaja de esta opción es que el cuerpo se puede volver mas grande, pero sin incrementar la complejidad interna.

2. La otra solución, que fue adoptada por la mayoría de animales metazoarios, es desarrollar sistemas de transporte interno, para llevar nutrientes, gases y productos de desecho entre células y el ambiente externo.

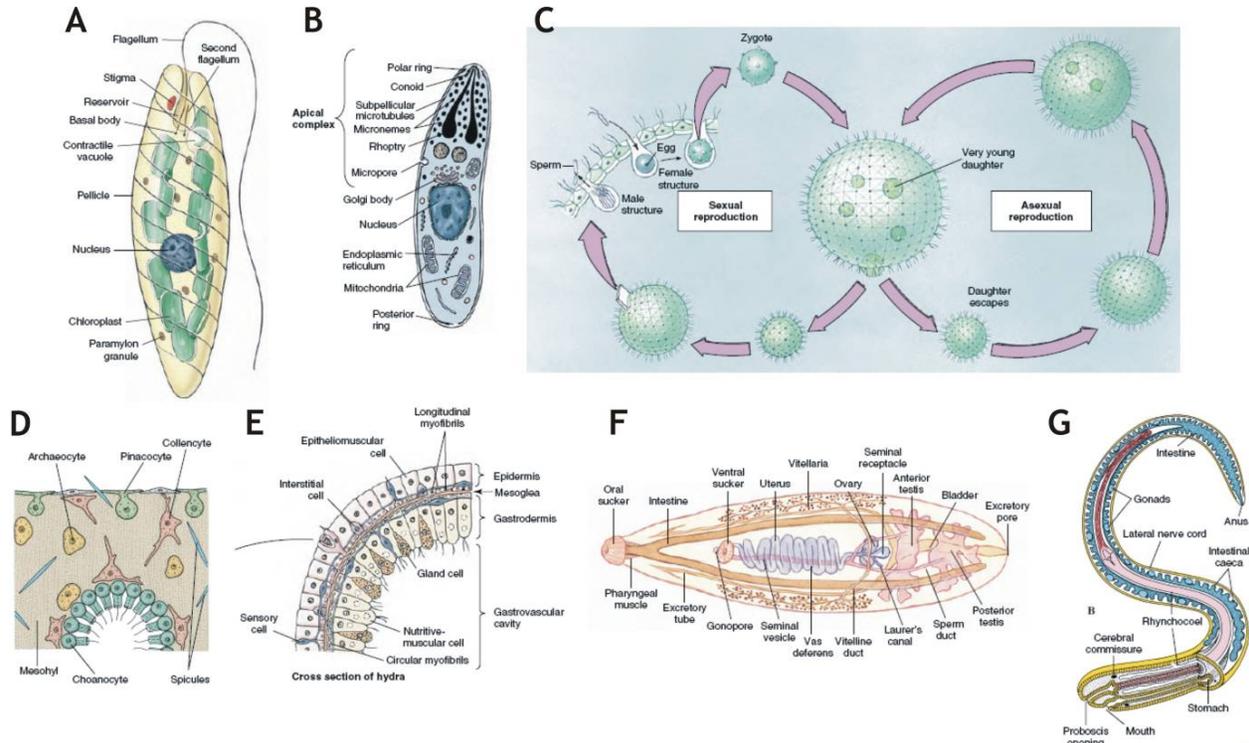


Figura 1. Niveles de organización en la complejidad orgánica animal. (A-B) *Euglena* y un esporozoito de un protozario apicomplejo muestran el grado de organización protoplasmática, donde una única célula presenta todas las funciones vitales realizadas por las organelas (e.g., la vacuola contráctil se encarga de la función excretora); (C-D) un volvócido y una esponja (en corte sagital) representan el grado de organización celular, con una serie de células no organizadas en tejidos, pero que si desempeñan cada una una función única; (E) un corte sagital de una hidra (Phylum Cnidaria) muestra el grado celular-tejidos, donde las células se han agrupado por tipos y desempeñan funciones especializadas, como el plexo nervioso de los cnidarios constituido por células sensoriales; (F) un platelminto es la representación del grado tejidos-órganos, en el cual algunos tejidos han formado órganos como los reproductivos (ovario y testículos); (G) *Amphiorus*, del Phylum Nemertea, es una indicación del grupo mas basal de organismos que poseen un grado de organización órganos-sistemas, donde ya los órganos se han coordinado para cumplir funciones vitales y aparecen sistemas como el sistema digestivo.

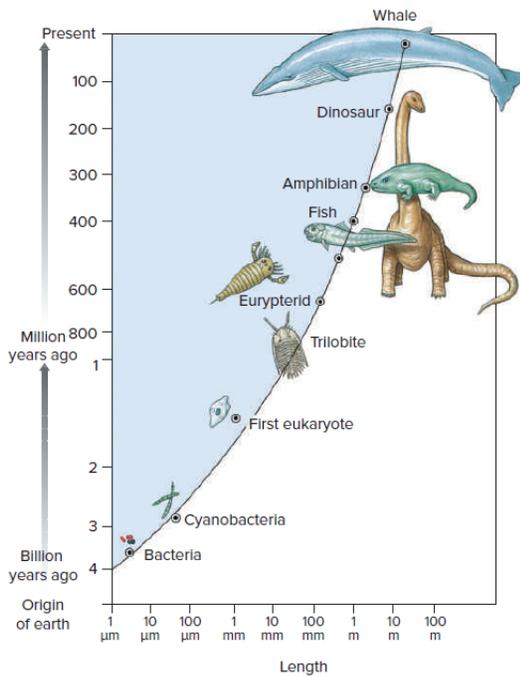


Figura 2. Gráfica que muestra la evolución del incremento del tamaño (longitud) en organismos en diferentes periodos de la vida en la tierra. Note que ambas escalas son logarítmicas (con el fin de reducir la varianza en los tamaños entre los distintos organismos) (Hickman *et al.* 2017).

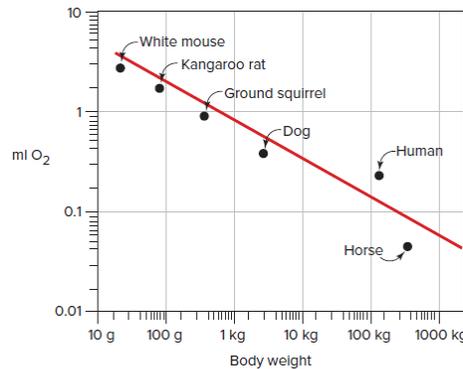


Figura 3. Costo neto del correr en mamíferos de varios tamaños. Cada punto representa el costo (medido por la tasa de consumo de oxígeno) de mover 1 g de masa en 1 km. El costo se reduce con el incremento en tamaño corporal (Hickman *et al.* 2017).

Características embrionarias de la clasificación

Una clasificación primaria de los animales se hizo con base en una divergencia evolutiva relacionada con la división celular y el desarrollo embrionario. Tal divergencia ocurrió muy temprano en la filogenia de los metazoarios, especialmente en aquellos de simetría bilateral, que son todos los Phyla incluyendo PLatyhelminthes y siguientes (Fig. 4). La divergencia temprana en los metazoarios bilaterales (clado Bilateria) produjo dos grandes grupos de animales: los protostómados (todos animales invertebrados) y los deuterostómados (algunos grupos de invertebrados y los cordados).

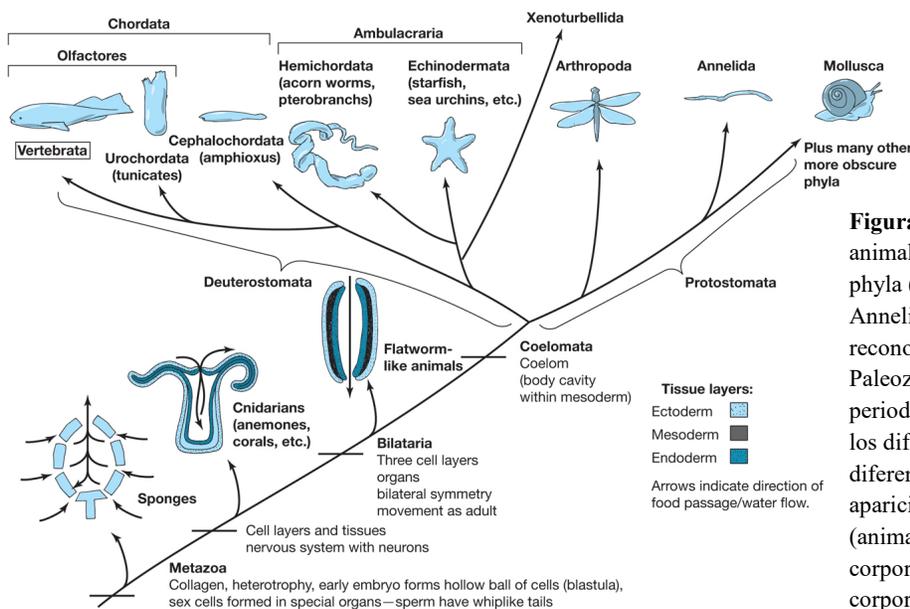


Figura 4. Filogenia simplificada del reino animal. Hay actualmente casi un total de 30 phyla (e.g., Chordata, Echinodermata, Annelida). Aproximadamente otros 15 phyla se reconocen existieron a principios de la Era Paleozoica y se extinguieron al final del periodo Cámbrico. Aquí se muestra como en los diferentes Phyla evolucionaron las diferentes características relacionadas con la aparición de las capas de tejidos germinales (animales diblásticos y triblásticos), la simetría corporal (Radiata y Bilateria), las cavidades corporales (Coelomata), y la forma en que se originó la boca (Protostomata y Deuterostomata) (Pough *et al.* 2013).

© 2013 Pearson Education, Inc

1. **Protostomata:** en este linaje sucede que, durante la etapa embrionaria de gástrula, el blastóporo (abertura del embrión hacia su interior) es el inicio de la formación de la boca y luego mas tarde en la embriogénesis se forma el ano (Fig. 5). Los protostómados, o “animales de boca primaria” incluye a los anélidos, nemertinos, platelmintos, moluscos (Excepto los cefalópodos), artrópodos y otros.
2. **Deuterostomata:** en este grupo, durante la gastrulación, el blastóporo inicia el desarrollo del ano y la boca se forma secundariamente (Fig. 5). Los animales deuterostómicos son los equinodermos, quetógnatos, lofoforados, cefalópodos, hemicordados y los cordados.

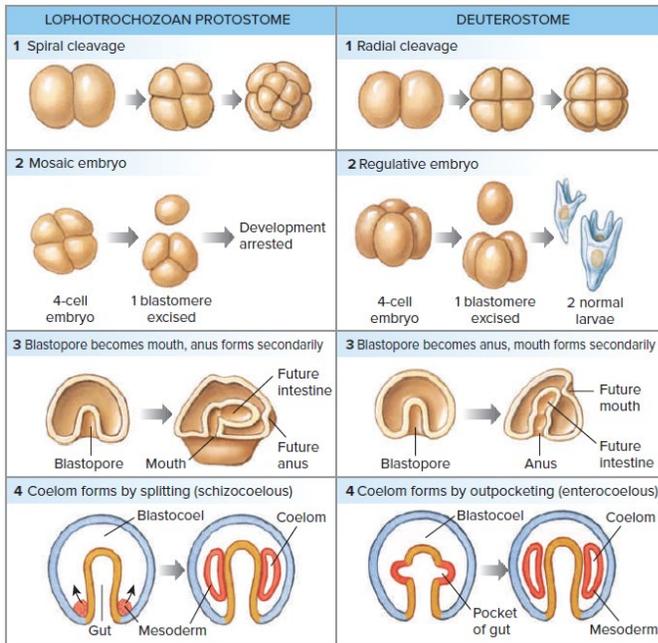


Figura 5. Criterios básicos para distinguir entre las divisiones de los animales bilaterales (Hickman *et al.* 2017)

En cuanto a la arquitectura corporal de los animales, primero ocurrió la multicelularidad y sus diferentes grados de organización. Luego en su orden, se origino la simetría radial y la simetría bilateral (Fig. 4). En la simetría bilateral primero fue el diseño de tubo como en los animales acelomados (que no presentan celoma; e.g., los platelmintos) y luego el diseño de “tubo dentro de un tubo”, originando los animales celomados (Coelomata: pseudocelomados y eucelomados) (Fig. 6).

Simetría animal

La simetría animal trata del equilibrio de las proporciones o correspondencia en tamaño y forma de las partes o estructuras situadas en lados opuestos de un plano de simetría. Existen tres tipos de simetría:

1. **Simetría esférica:** significa que cualquier plano que pase por el centro del cuerpo del animal lo divide en mitades equivalentes o especulares (de espejo) (Fig. 7). Simetría típica de algunas formas unicelulares y son formas mejor adaptadas a la flotación o al desplazamiento por rotación.
2. **Simetría radial:** esta aplica a animales que pueden ser divididos en mitades iguales por más de dos planos atravesando el eje longitudinal (Fig. 7). Es típico de poríferos, cnidarios y ctenóforos, los cuales son animales sésiles, flotadores pasivos o débiles nadadores. Los animales radiados no tienen cara frontal ni posterior, y por lo tanto, pueden interactuar con su ambiente en cualquier dirección y una ventaja de estos en animales sésiles o flotadores es que pueden atrapar sus presas desde cualquier dirección de donde provengan.
 - Los animales equinodermos (Phylum Echinodermata), aunque son animales de simetría radial en el estado adulto, ellos son primariamente bilaterales, visto en el tipo de simetría que presentan sus larvas.

3. **Simetría bilateral:** aplica a animales que pueden ser divididos a lo largo de su plano sagital en dos porciones especulares, mitades derecha e izquierda (Fig. 7). La aparición de la simetría bilateral en la evolución animal fue una innovación importante, debido a que los animales bilaterales están mejor acondicionados para el movimiento direccional hacia adelante que los animales de simetría radial. La bilateralidad esta fuertemente asociada con la cefalización, que fue el desarrollo del sistema nervioso de control en la parte anterior –cabeza- del animal.

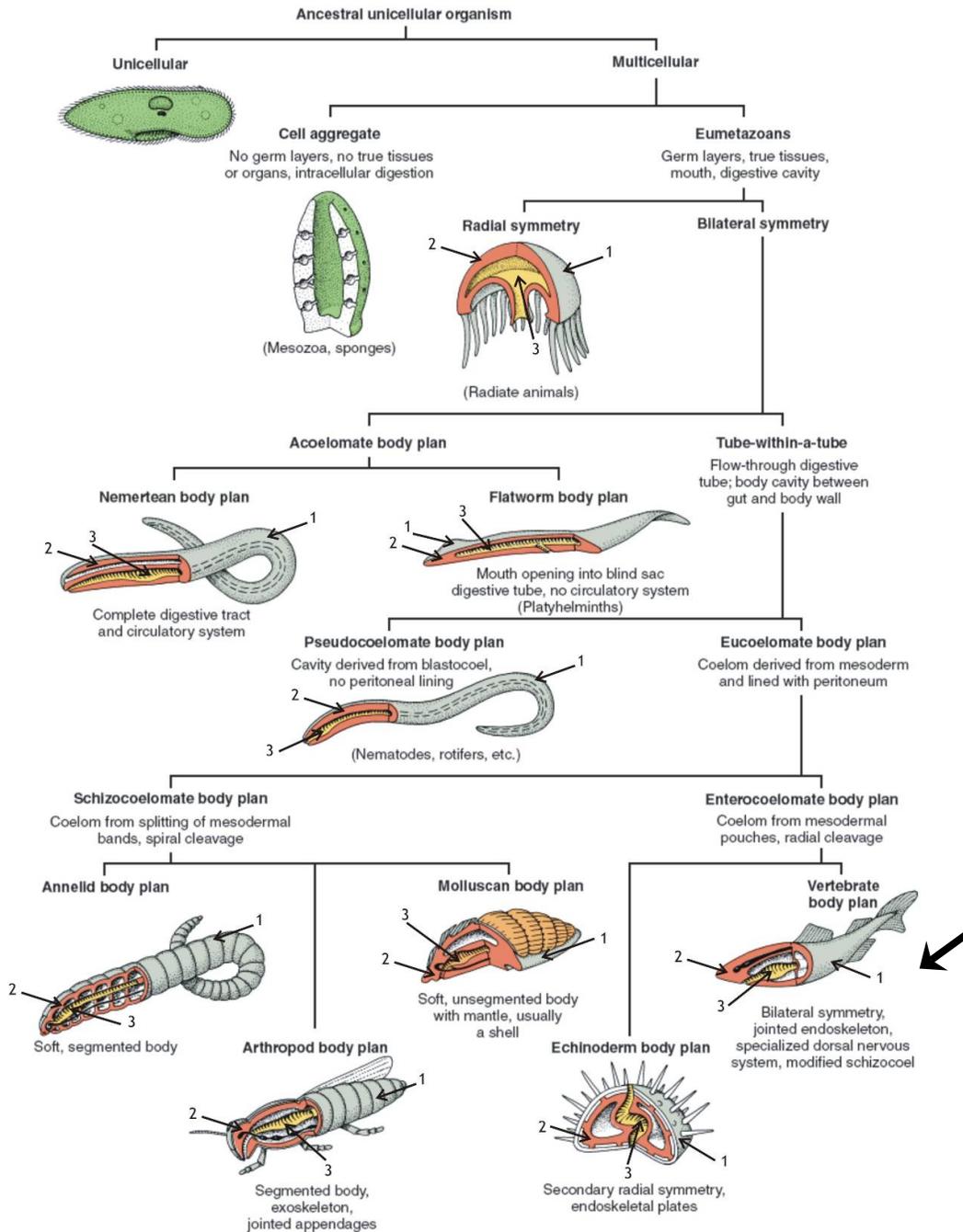


Figura 6. Patrones arquitectónicos de los animales. Estos arquetipos básicos han sido diversamente modificados a lo largo de la evolución para adaptar a los animales a una gran variedad de hábitats. El ectodermo aparece en la figura como 1, el mesodermo como 2 y el endodermo como 3. La flecha indica el patrón observado en los cordados (Hickman *et al.* 2004).

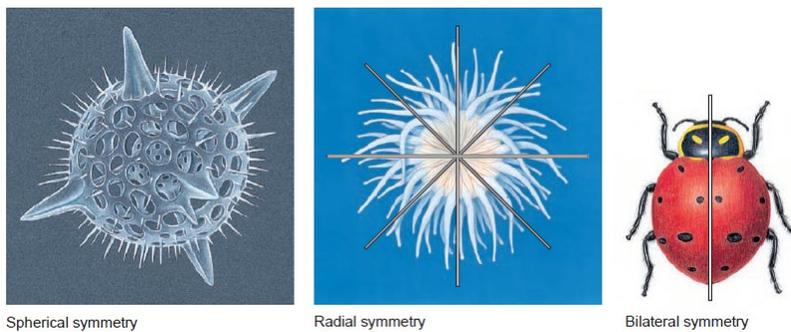


Figura 7. Simetría animal. Los animales ilustrados muestran la simetría esférica (arriba izquierda), radial (arriba derecha) y la bilateral (abajo centro) (Hickman *et al.* 2017).

Planos estructurales en vertebrados

Los cuerpos animales con simetría bilateralidad poseen regiones y planos de orientación, ya que ellos pueden ser seccionados de diversas maneras y en distintos ángulos. Es importante reconocer las regiones y los planos de corte de los cuerpos para entender las descripciones animales que se hacen basándose en la terminología estructural. Las regiones son (Fig. 8):

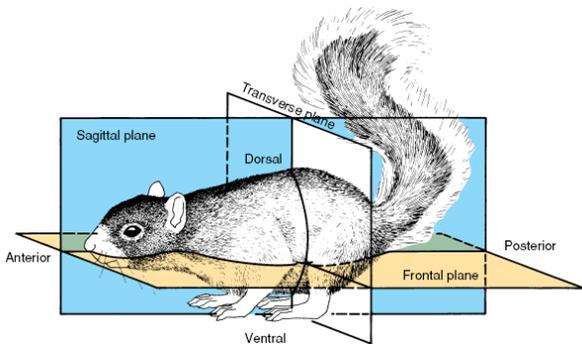


Figura 8. Los planos de corte tal y como aparecen en un animal de simetría bilateral. (de Hickman *et al.* 2004).

1. **Anterior:** es la región hacia la cual se desplaza el animal e indica el extremo cefálico o la cabeza.
2. **Posterior:** es el extremo opuesto (caudal) a la región anterior o donde se encuentra el ano del vertebrado.
3. **Dorsal:** es la región superior del animal o el dorso.
4. **Ventral:** indica la región anterior o el abdomen.
5. **Lateral:** indica los lados del cuerpo.
6. **Proximal y distal:** indican, respectivamente, aquellas regiones del cuerpo mas cercanas o mas alejadas del centro del cuerpo en un plano sagital o transversal.
7. **Pectoral:** en vertebrados designa la región del pecho o la soportada por las extremidades anteriores (animales cuadrúpedos) o superiores (animales bípedos, como el hombre).
8. **Pélvica:** en vertebrados designa la región de las caderas o el área sobre las extremidades posteriores (animales cuadrúpedos) o inferiores (animales bípedos, como el hombre).

En animales de posición horizontal (cuadrúpedos), las regiones nombradas aplican perfectamente, pero en animales de posición vertical o bípedos, las regiones son algo distintas:

- La región cefálica o anterior en animales cuadrúpedos es en animales bípedos se denomina región inferior.
- La región posterior o caudal de cuadrúpedos es en animales bípedos la región inferior.
- La región dorsal o dorso de cuadrúpedos es la región posterior en bípedos.
- La región ventral o abdominal de animales de posición horizontal es la región anterior en los bípedos.

Los planos de corte son (Fig. 8):

1. **Plano frontal:** divide al cuerpo bilateral en posición longitudinal en dos mitades, dorsal y ventral.

2. **Plano sagital:** divide al animal bilateral en posición longitudinal en dos mitades, izquierda y derecha. Este plano forma un ángulo de 90° con el plano frontal.
3. **Plano transversal:** divide al cuerpo bilateral en posición longitudinal en dos mitades, anterior y posterior. Este plano contiene a los planos frontal y sagital simultáneamente en forma perpendicular.

Cavidades corporales internas

Otra innovación evolutiva importante en los animales bilaterales fue el desarrollo de un espacio lleno de fluido que rodea al intestino, que se denomina **celoma**. Tal espacio o cavidad, sea un pseudoceloma o un euceloma, provee un arreglo corporal de “tubo dentro de un tubo” (Fig. 6), que permite una mayor flexibilidad de la cavidad corporal. Un pseudoceloma o un euceloma también proveen otras ventajas:

- Da mayor disponibilidad de espacio para los órganos internos o viscerales.
- Permite que los animales puedan alcanzar un mayor tamaño y complejidad corporal, al dejar una mayor superficie expuesta para los intercambios celulares.
- Funciona como un esqueleto hidrostático que permite actividades como la traslación y la excavación.

Estas ventajas en conjunto fueron muy importantes para el avance evolutivo, en términos de radiación de especies, de los animales bilaterales con celoma. De acuerdo a la ausencia/presencia de celoma, los animales bilaterales se clasifican en tres grupos: acelomados, pseudocelomados y eucelomados (Fig. 9).

1. **Acelomados:** son aquellos que no poseen cavidad corporal alrededor del tubo digestivo. En estos, el espacio que existe entre la epidermis (ectodermo) y el tubo digestivo (endodermo), es un “mesodermo” en forma de masa esponjosa de células de relleno denominada **parénquima**.
2. **Pseudocelomados:** estos animales (e.g., nematodos) presentan una cavidad que rodea el tubo digestivo, pero no hay una delimitación de esta cavidad por un peritoneo mesodérmico, el cual es una capa de tejido conectivo.
3. **Eucelomados:** el resto de animales bilaterales, desde el Phylum Annelida, poseen un verdadero celoma que está tapizado por el peritoneo mesodérmico. Además, están provistos de mesenterios en los que quedan suspendidos los órganos viscerales.

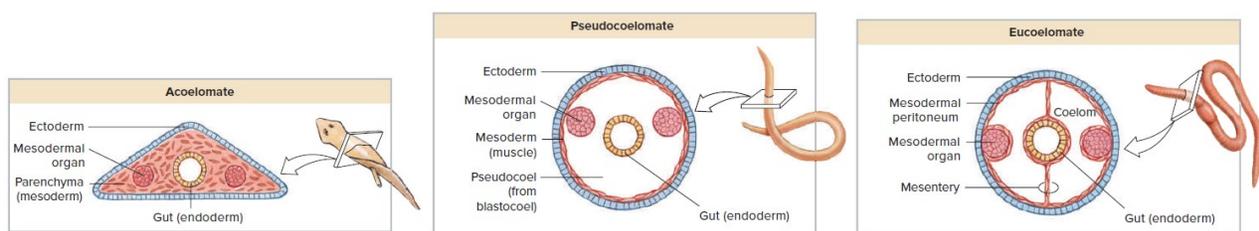


Figura 9. Diseños corporales acelomado (arriba), pseudocelomado (centro) y eucelomado (abajo) (Hickman *et al.* 2017).

Segmentación o metamería

La segmentación corporal o **metamería** de los animales bilaterales como los anélidos, artrópodos y los cordados, fue otro de los avances evolutivos en este linaje de metazoarios.

- La metamería es la repetición serial de segmentos corporales similares a lo largo del eje longitudinal del cuerpo. Cada segmento es denominado un metámero o sómito. En los anélidos es donde se observa muy claramente esa repetición de segmentos corporales.

- ✓ El arreglo metamérico incluye tanto las estructuras internas o externas de varios sistemas corporales. Hay repetición de músculos, vasos sanguíneos, nervios y setas para la locomoción. Algunos otros órganos, como los reproductivos, pueden ser repetidos solo en algunos sómitas.
- ✓ En algunos animales, como los vertebrados, los cambios evolutivos en la forma del cuerpo han oscurecido mucho el patrón segmentado del cuerpo (= no se observan las divisiones) a simple vista.

El metamérismo, como un evento significativamente evolutivo, permitió una mayor movilidad del cuerpo y mayor complejidad en la estructura y la función corporal. La importancia del metamérismo radica en que hizo posible movimientos independientes y separados en los distintos sómitas.

- Los movimientos independientes de estas estructuras en las diferentes partes del cuerpo pudieron haber jugado un papel importante de valor selectivo sobre un sistema nervioso más sofisticado para el control de los movimientos, produciendo consecutivamente una mayor elaboración del sistema nervioso central.

Cefalización

La diferenciación de la cabeza es denominada **cefalización** y es propia de los animales simétricamente bilaterales. Esto es la concentración de tejidos nerviosos y órganos de los sentidos en la cabeza y confirió ventajas obvias a un animal que se desplaza autónomamente hacia el frente con la cabeza adelante.

- La posición de los órganos sensoriales en la región anterior es la manera más eficiente de tener una mayor percepción del ambiente y de responder a los estímulos que éste ofrece.

Usualmente la boca de un animal también está localizada en la cabeza, ya que la mayoría de las actividades de los animales es procurarse alimento, y para esta actividad se necesita una complejidad de movimientos previos a y durante la consecución del alimento. Tales movimientos requieren una coordinación nerviosa compleja y un control del ambiente.

Tipos de tejidos

Como ya se vio en la diferenciación de los grados de organización de la complejidad orgánica, los tejidos son una innovación que apareció temprano en la evolución animal en la Era Paleozoica.

- Un tejido es en sí, un grupo de células similares (junto con sus correspondientes productos celulares) especializadas para desempeñar funciones comunes. En los metazoarios, todas las células hacen parte de algún tejido y en éstos, pueden existir células de diversos tipos (e.g., tejido sanguíneo formado por eritrocitos, leucocitos y plaquetas).

Los vertebrados son animales triblásticos, es decir, poseen tres capas de células germinales: endodermo, mesodermo y ectodermo.

- El endodermo, la capa más interna, da origen al tubo digestivo y las bolsas faríngeas.
 - El mesodermo, la capa celular media, da origen a músculos y al tejido esquelético. A medida que los vertebrados han incrementado en tamaño y complejidad, las estructuras de apoyo, movimiento y transporte mesodérmicas, se han vuelto más importantes y de mayor proporción.
 - El ectodermo, o capa germinal externa, da origen al cerebro, al cordón espinal, y casi todas las estructuras epiteliales externas del cuerpo.
- ✓ Justo por encima del notocordio, el ectodermo se engrosa formando una **placa neural** (Fig. 10). Los bordes de esta placa se elevan, se pliegan y se unen arriba para crear el **tubo neural**, que es alargado y hueco.

- El tubo neural da origen a la mayoría del sistema nervioso: anteriormente el tubo se agranda y diferencia en el cerebro y los nervios craneales; posteriormente, el tubo forma el cordón espinal y los nervios espinales motores.
- Gran parte del resto del sistema nervioso periférico es derivado de las células de la **cresta neural**, la cual se evagina a partir del tubo neural antes que éste se cierre (Fig. 10).

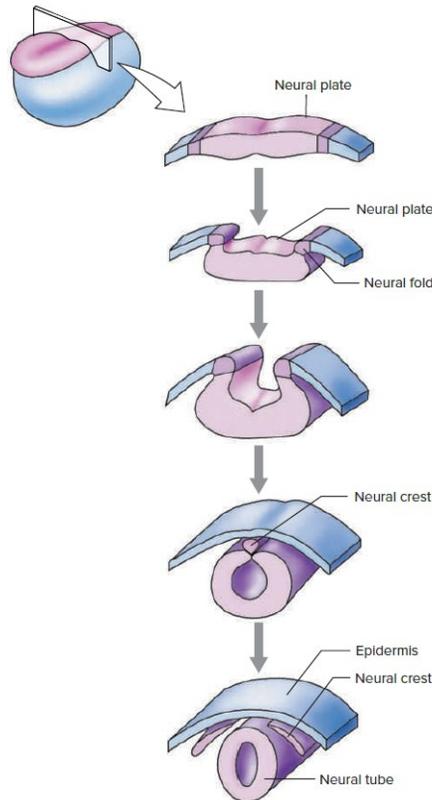


Figura 10. Desarrollo del tubo y la cresta neural a partir de la placa ectodérmica neural. (de Hickman *et al.* 2017)

Bibliografía

- Hickman, C.P., Jr., Roberts, L.S., Larson, A. & I'Anson, H. 2004. *Integrated Principles of Zoology*. McGraw Hill, New York. 872 pp.
- Hickman, C.P., Jr., Keen, S.L., Eisenhour, D.J., Larson, A. & I'Anson, H. 2017. *Integrated principles of zoology*. Seventeenth edition. McGraw Hill, New York. 834 pp.
- Pough, F.H., Janis, C.M. & Heiser, J.B. 2013. *Vertebrate life*. Pearson Prentice Hall, New Jersey. 720 pp. + appendages.
- Pough, F.H. & Janis, C.M. 2019. *Vertebrate life*. Tenth edition. Oxford University Press, New Jersey. 552 pp. + appendages.