

Simetría, cavidades y segmentos, elementos para clasificar a los animales

Verónica Manzo¹, Daniel Dos Santos¹, Gabriela Murúa², M. Elisa Fanjul³, Mariana Orce⁴, Regina Medina¹, Eduardo Dominguez¹

Introducción

La diversidad de seres vivos es extremadamente alta, como así también sus formas y el modo de llevar a cabo sus funciones vitales. En este capítulo abordaremos aspectos generales referidos al Reino Animal (Metazoos), haciendo referencia al modelo de organización corporal de un animal, lo que explica su complejidad, modo de realizar sus funciones y hábitat donde se desarrolla. Para comprender la complejidad estructural y poder clasificarlos debemos entender algunos aspectos morfológicos y funcionales básicos, tales como: la simetría, la organización celular, las cavidades del cuerpo, la segmentación o metamería y el desarrollo embrionario entre otros.

En este capítulo aprenderemos también, como algunos aspectos estructurales y/o funcionales pueden ser comunes a animales tan diferentes entre sí, como una lombriz de tierra y el hombre; o entre una anémona y una estrella de mar. Estas características, como ser la simetría o el desarrollo de una cavidad corporal secundaria, permiten explicar porque ciertos animales tienen una concentración nerviosa hacia la región anterior del cuerpo, o bien porque algunos animales desarrollan sistemas de órganos completos y otros no lo hacen, o a que se debe la disposición radial de estructuras sensoriales en otros.

1. Simetría

La forma y función de un organismo puede explicarse, en parte, si analizamos un aspecto básico de su forma corporal: la simetría.

Si comparamos las Figuras 1, 2 y 3 veremos que existen organismos que pueden dividirse a la mitad por al menos un plano que atraviesa su cuerpo, de

¹ Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT. Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN) (CONICET – UNT). ² Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT. Instituto de Tecnología Agroindustrial del NOA (ITANOA) (CONICET). ³ Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT. Fundación Miguel Lillo. ⁴ Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT.

tal forma que las partes resultantes sean especulares entre sí (es decir como las imágenes en un espejo). Se dice entonces que son organismos simétricos, como por ejemplo una lombriz, una mariposa, un perro o una anémona. Existen otros animales donde esto no es posible, siendo, por tanto, asimétricos, como es el caso de las esponjas de agua dulce y marinas.

En biología, la simetría se ocupa de la disposición regular de las estructuras corporales con respecto a un eje que los atraviesa y que define uno o más planos. Se pueden diferenciar tres tipos de simetría.

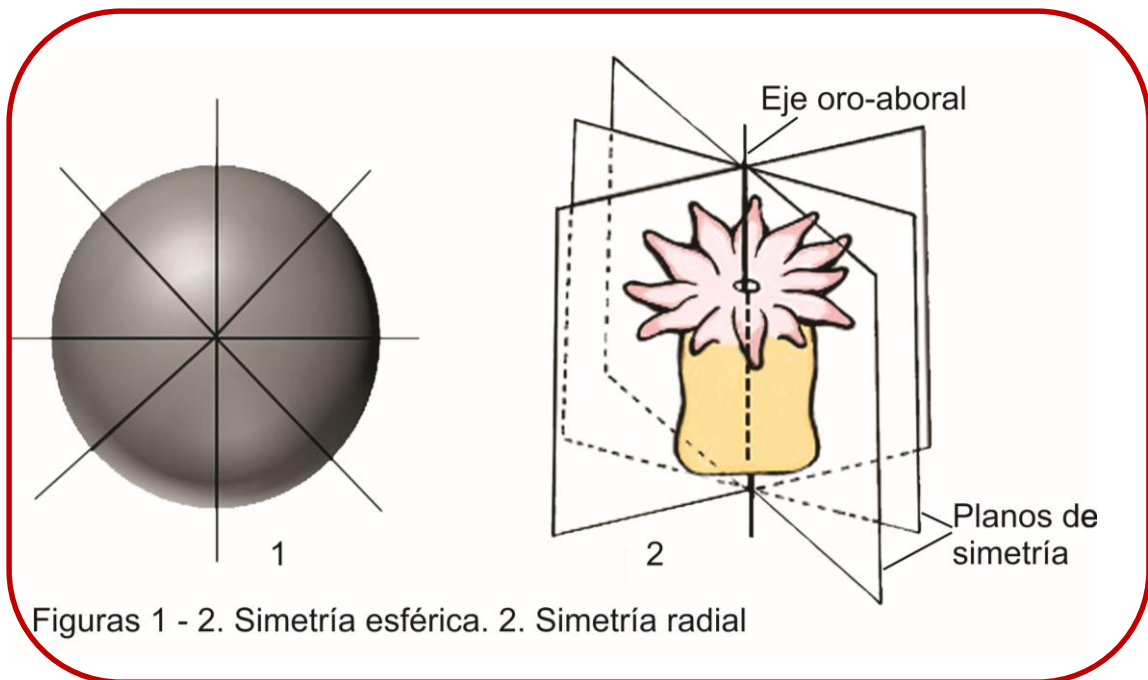
1.1 Simetría esférica (Figura 1): es rara en la naturaleza, aunque puede aparecer en algunos organismos unicelulares, pero no en el Reino Animal. Los organismos con simetría esférica tienen forma redonda y sus partes corporales están dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central. Tienen infinitos planos de simetría que pasan por su centro y lo dividen en mitades simétricas.

1.2 Simetría radial (Figura 2): los animales con este tipo de simetría presentan un eje principal alrededor del cual se disponen las distintas partes del cuerpo y cualquier plano que contenga a dicho eje produce imágenes especulares. Es decir, existen múltiples planos de simetría que dividen el cuerpo en mitades especulares. Sin embargo la mayoría de ellos presentan modificaciones sobre el patrón original. La simetría birradial se produce cuando algunas partes del cuerpo se disponen de tal manera que sólo dos planos dividen al animal en mitades especulares. Son ejemplos de este caso los ctenóforos y algunas anémonas. Muchas medusas, por el contrario, presentan cuatro planos de simetría que dividen al cuerpo en mitades simétricas, este tipo de simetría se denomina tetrarradial. Otros animales como las formas adultas de estrellas de mar (equinodermos) presentan cinco planos de simetría, hablamos entonces de simetría pentarradial (en los equinodermos las larvas son bilaterales).

En un animal radial no diferenciamos un extremo anterior o posterior, sino que sus partes corporales se organizan alrededor del eje central, el cual pasa desde la superficie que lleva la boca (oral) hasta la opuesta (aboral). Este eje se denomina **eje oro-aboral**.

La simetría radial, más común en organismos acuáticos, es típica de animales sésiles (fijos al sustrato) o sedentarios, como esponjas y anémonas. También se encuentra en especies pelágicas a la deriva (especies que se

encuentran en la masa de agua, y no tienen contacto con el fondo ni la superficie de mares y océanos) como medusas y ctenóforos. Considerando su modo de vida, es muy ventajoso para estos organismos poder enfrentarse al medio en todas las direcciones por igual. Se puede observar en ellos que las estructuras para alimentarse como tentáculos, o receptores sensoriales, están distribuidos regularmente en la periferia del organismo, de manera tal que contactan con el ambiente en todas direcciones de igual forma.



1.3 Simetría bilateral (Figura 3): este es el caso de los "animales bilaterales". El cuerpo está orientado alrededor de un eje dirigido desde el extremo anterior al posterior (**eje longitudinal** o **antero-posterior**). Solo hay un plano de simetría, que conteniendo a dicho eje divide al cuerpo en mitades especularmente simétricas, mitad derecha y la mitad izquierda, es el llamado **plano sagital**. En el caso de los animales bilaterales se pueden diferenciar, además, dos planos de referencia (los cuales **no** son de simetría, ya que no separan mitades especulares): un *plano frontal* que divide al cuerpo en una mitad dorsal y otra ventral; está situado longitudinalmente y contiene al eje antero – posterior siendo este perpendicular al plano sagital. Y un *plano transversal*, que corta al cuerpo perpendicularmente al eje longitudinal y al plano sagital, y lo divide en una parte anterior y otra posterior (en algunos casos, como el de la Figura 3, en una parte superior y otra inferior).

A diferencia de los organismos radiales, los cuales están generalmente fijos a un sustrato, son sedentarios o de movimientos no controlados (derivan o flotan en el medio), los animales bilaterales son bastante activos y tienen un movimiento típicamente unidireccional controlado. En estos casos, el extremo anterior se enfrenta primero al entorno que lo rodea, de allí que las estructuras para la alimentación y sensoriales estén concentradas en esa parte del cuerpo. La diferenciación de una región especializada del cuerpo, la cabeza, la cual aloja estas estructuras, conlleva a un mayor desarrollo de la porción anterior del sistema nervioso que las inervan, esto se conoce como **cefalización**.

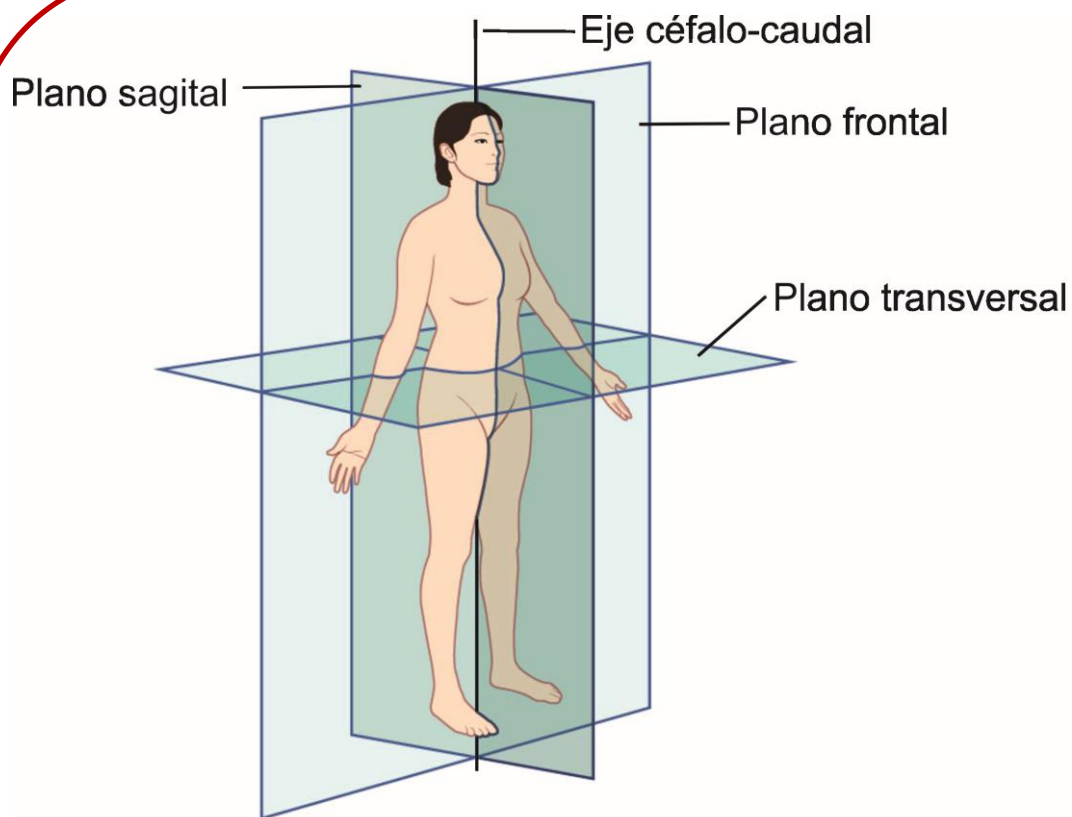


Figura 3. Simetría bilateral. Plano de simetría: plano sagital. Planos de referencia: plano transversal y plano frontal. Esquema tomado de Connexions CNXAnatomy & Physiology - CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

El 90% de las especies de animales conocidas son bilaterales. Este modelo de organización corporal fue indudablemente exitoso, asociado a otras características corporales como veremos más adelante (desarrollo de un celoma, metamería, etc.). En las clasificaciones actuales, todos los animales

bilaterales forman un grupo monofilético (es decir un grupo que incluye a un antecesor común y a todos sus descendientes), denominado **Bilateria**.

2. Organización celular y organización tisular

Los planes corporales de los animales también varían en función de la organización de sus tejidos. Los tejidos son agregados de células, morfológica y fisiológicamente similares, sostenidas por una membrana basal y que llevan a cabo una determinada función. La clasificación de los Metazoos incluye tres grandes grupos: Parazoos, Mesozoos y Eumetazoos; en relación a su organización celular, los dos primeros no presentan verdaderos tejidos, pero sí un grado de organización celular. Los Parazoos incluyen a las esponjas de agua dulce y marinas, con grado de organización celular, donde cada célula lleva a cabo una función específica en el organismo. Los Mesozoos incluyen a unos pequeños organismos marinos sin organización tisular ni de órganos. Por último, los Eumetazoos ("verdaderos animales"), donde se incluyen a la mayoría de los animales conocidos, presentan un nivel de organización tisular y muchos de ellos con una organización corporal de órganos y sistemas desarrollados.

Todos los animales pasan por distintas etapas durante su desarrollo embrionario (embriogénesis) hasta llegar a formar un individuo completo. En el caso de los Eumetazoos, durante el desarrollo embrionario, se diferencian las denominadas hojas embrionarias (o tejidos embrionarios). Es a partir de las mismas que se originan todos los tejidos de un individuo adulto. Dos de estas hojas embrionarias son el **endodermo** y el **ectodermo**. El endodermo origina, por ejemplo, el tubo digestivo y estructuras asociadas, mientras que el ectodermo da origen al tejido nervioso y tegumento, entre otros. En animales como cnidarios (pólipos y medusas) y ctenóforos, durante la embriogénesis solo se diferencian estas dos hojas embrionarias, por lo que debemos hablar entonces de "organismos diblásticos" (del griego *di*-"dos" y *blastós* -"yema"). Por el contrario, en la mayoría de los animales durante la embriogénesis se diferencia, además, una tercera hoja embrionaria, el **mesodermo**, ubicado entre el ectodermo y el endodermo, por lo que hablamos entonces de "organismos triblásticos". El tejido mesodérmico dará origen al tejido muscular, al tejido óseo, al cartílago, parte del aparato excretor, etc.

Importante: en este punto es importante remarcar que cuando hablamos de desarrollo embrionario, es correcto hablar de tejido ectodérmico, endodérmico o mesodérmico. Son los tejidos que darán origen a los diferentes tejidos del adulto. Por lo tanto, cuando hablamos de tejidos de un adulto, debemos señalar a los derivados de las hojas embrionarias. Dicho de otra manera, podemos hablar de epidermis o tejido nervioso en un organismo adulto, pero no de ectodermo, por más que hayan derivado de él.

3. Cavidades corporales

La presencia de una tercera hoja embrionaria (mesodermo), permitió aumentar en gran medida la complejidad en los animales. Una de las principales tendencias en los organismos triblásticos es al desarrollo de una cavidad llena de líquido entre la pared del cuerpo y el tubo digestivo (es decir aquellas estructuras derivadas del ectodermo y el endodermo). Esto dio origen a un plan corporal nuevo, diferente al de los organismos diblásticos. Estructuralmente corresponde a un tubo dentro de un tubo, es decir un tubo interno (que corresponde al tubo digestivo) que solo queda ligado al tubo externo (la pared del cuerpo) por sus extremos, por lo que se genera un espacio entre ambos tubos lleno de líquido. Este espacio lleno de líquido funciona no sólo como un esqueleto hidrostático incipiente, sino que también permite el desarrollo de nuevas estructuras internas, la generación de un lugar para almacenar diversos productos (por ejemplo gametos) y un medio para la circulación. Funcionalmente además, aísla el tubo digestivo y a los órganos del medio, por lo que puede seguir funcionando aunque el organismo se esté desplazando. El origen de esa cavidad está asociado al desarrollo del mesodermo, evidenciándose en la etapa de gástrula, durante el desarrollo embrionario de los organismos. De este modo, se podrán reconocer tres modelos arquitectónicos o de organización corporal en los organismos triblásticos: los animales celomados, pseudocelomados (también llamados blastocelomados) y acelomados.

3.1 Animales celomados

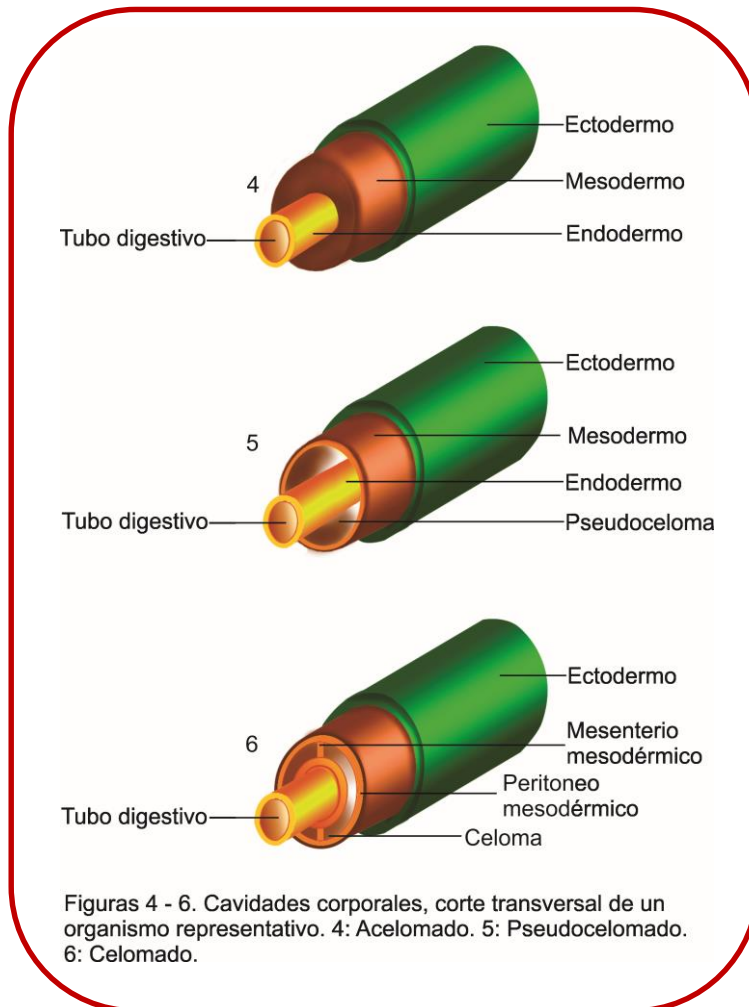
La mayor parte de los animales triblásticos como, por ejemplo, lombrices (anélidos), caracoles (moluscos), mariposas (artrópodos), estrellas de mar (equinodermos) y el hombre (cordados) son organismos celomados (Figura 6).

Esto significa que durante el desarrollo embrionario (en la etapa de gastrulación), al diferenciarse el mesodermo, se origina una nueva cavidad o cavidad secundaria del cuerpo, el **celoma**. Esta nueva cavidad o espacio, generalmente oblitera a la cavidad primaria del cuerpo o blastocele.

El celoma puede formarse de dos maneras diferentes. Sin embargo siempre será en el seno del propio mesodermo, quedando completamente delimitado por un delgado revestimiento que deriva del mismo mesodermo embrionario, denominado **peritoneo**.

En la mayoría de los filos con segmentación espiral del cigoto, una única célula (denominada micrómero 4d) se divide y prolifera entre el tubo digestivo embrionario en formación (el arquenterón) y la pared corporal. Estas bandas macizas crecen hasta que se tocan, se ahuecan y forman de este modo una segunda cavidad que oblitera al blastocele o cavidad primaria del cuerpo. El mesodermo se diferencia en una delgada lámina de células que forma un tejido especial denominado peritoneo. En este caso hablamos de un celoma formado por un proceso de **esquizocelia**. Esto ocurre, por ejemplo, en moluscos, anélidos y aetrópodos.

En otros filos como equinodermos o cordados, con una segmentación radial del cigoto, el mesodermo surge de las paredes del arquenteron, en la mayoría de los casos, formando bolsas que crecen y se expanden. A medida que crecen ocupan la cavidad primaria del cuerpo hasta ocuparla totalmente, separándose del arquenteron. En este caso el celoma se forma por un proceso denominado **enterocelia**. El mesodermo originará, también, el peritoneo que reviste al celoma.



Independientemente del proceso que dé lugar a la formación del celoma, ambos son funcionalmente similares, en los dos casos están revestidos por peritoneo, el que también origina los mesenterios que protegen y suspenden a los órganos en esta nueva cavidad (de origen mesodérmico).



¿SABIAS QUE...?

A veces el concepto de **celoma** o cavidad secundaria es difícil de entender, porque en el caso de los cordados (como el hombre) no es evidente en el adulto. Es muy difícil de ejemplificar cual es nuestra cavidad celomática. Esto se debe a que esta cavidad de real pasa a ser virtual, al quedar pegados el mesenterio interior o visceral (esplacnopleura) con el exterior o corporal (somatopleura). En el caso de accidente, esta cavidad virtual puede volver a ser real, como por ejemplo en el caso de un neumotórax, al entrar aire entre estos mesenterios. Entonces, estos se separan, creando una cámara en la cavidad torácica y el pulmón se reduce de tamaño y no funciona correctamente.

3.2. Animales acelomados y pseu celomados

En otros animales, durante el desarrollo embrionario también se diferencia una tercera hoja embrionaria: el mesodermo, pero aunque son triblásticos, el mesodermo no se diferencia en un peritoneo. Por lo tanto, en estado adulto presentan la cavidad primaria del cuerpo ya sea ocupada totalmente por tejido de origen mesodérmico (parénquima mesenquimatoso) o bien es un espacio lleno de líquido, pero en ningún caso se ha diferenciado un peritoneo (Figura 4). En algunos animales, como se observa en los nematodos, esa cavidad está parcialmente cubierta de tejido derivado del mesodermo, el tejido muscular.

Son organismos **acelomados** (del griego *a-* “sin” y *coel-* “cavidad”) las planarias y los parásitos del grupo de los cestodos y tremátodos (Filo Platelminetos), o los menos conocidos Endoproctos (pequeños animales acuáticos, sésiles y filtradores) y Gnatostomúlidos (organismos marinos, vermiformes). En ellos el mesodermo se diferencia en un parénquima mesenquimatoso (el mesénquima es un tejido embrionario) que es un tejido más o menos macizo y, dependiendo del grupo, puede presentar fibras, células musculares y/o pequeños espacios (lagunas). Se encuentra relleno de todo el espacio entre la pared corporal y el tubo digestivo. Es decir, que la cavidad primaria del cuerpo (blastocel) ha sido ocupada completamente por un tejido originado a partir del mesodermo (el parénquima); entre las células de este tejido se pueden encontrar los órganos excretores (protonefridios) y las gónadas.

Son organismos **pseudocelomados** (del griego: *pseudo-* falso, y *coel-* “hueco, cavidad”), grupos tales como nemátodos y rotíferos (organismos microscópicos de amplia distribución) que poseen cavidades corporales amplias entre la pared corporal y el tubo digestivo (Figura 5). Esta cavidad es, un blastocel persistente, funciona primariamente como un esqueleto hidrostático ya que se encuentra llena de líquido, donde los órganos están libres en este espacio y bañados por él. En el caso de los nemátodos, por ejemplo, el mesodermo se ha diferenciado en tejido muscular y el líquido que ocupa el espacio interno y los músculos diferenciados actúan de tal manera que permiten el funcionamiento eficiente de un esqueleto hidrostático en estos organismos.

4. Desarrollo: Protostomados y Deuterostomados

Según ciertas características del desarrollo embrionario, los animales bilaterales pueden ser clasificados en protostomados o deuterostomados. Esta división, cuya característica principal se refiere al destino del blastoporo, es acompañada por un tipo de segmentación (o clivaje del cigoto) particular; el destino de las células embrionarias en etapas tempranas de la segmentación (determinada – indeterminada) y el origen del celoma (en caso de ser animales celomados).

El destino del blastoporo es la característica fundamental que distingue las dos formas de desarrollo. El blastoporo es la abertura del arquenteron durante la gastrulación. Después del desarrollo del arquenteron se puede originar una segunda abertura en el extremo opuesto de la gástrula. En muchos animales la primera abertura origina la boca y la segunda el ano. Esto es lo que sucede en los **protostomados** (del griego *protos-* “primero”, y *stoma-* “boca”) donde el blastoporo originara la boca del adulto. En el caso de los **deuterostomados** (del griego *deuteros-* “segundo”, y *stoma-* “boca”) la boca del adulto deriva de una segunda abertura y el blastoporo generalmente forma el ano. Pueden presentarse variaciones en cuanto al destino del blastoporo en los deuterostomados. Por ejemplo, en los gusanos bellota, organismos marinos del filo Hemicordados, durante su desarrollo embrionario, el blastoporo si bien se encuentra en el futuro polo posterior del animal se cierra y tanto la boca como el ano se forman secundariamente.

Tabla 1: Bilaterales: protostomados y deuterostomados. Principales diferencias

	Protostomados	Deuterostomados
Destino del blastoporo	Origina la boca	No origina la boca (puede originar el ano)
Segmentación o clivaje del cigoto	Espiral	Radial
Destino de las células (estado temprano de división celular)	Determinado	Indeterminado
Formación del celoma	Esquizocelia	Enterocelia
Ejemplos	Artrópodos, Moluscos, Anélidos	Equinodermos, Cordados

Las características mencionadas en la Tabla 1, si bien se dan en la mayoría de los protostomados y deuterostomados, ciertos grupos de organismos, presentan particularidades especiales durante su desarrollo embrionario por lo que su ubicación en uno u otro grupo (clado) es aún controvertida. Tal es el caso de los foronídeos, organismos marinos, en forma de gusanos donde en las fases tempranas de desarrollo la segmentación del cigoto es radial, el destino de los blástómeros es indeterminado y el celoma enterocélico características típicas de deuterostomados. Sin embargo el blastoporo en los foronídeos origina la boca, como en protostomados.

5. Metamería

La segmentación metamérica o metamerismo es un plan de arquitectura corporal presente en algunos animales, donde segmentos y sistemas orgánicos asociados, se repiten serialmente a lo largo del eje céfalo-caudal. Los segmentos similares se denominan somitos o metámeros. Los animales que exhiben esta condición se denominan metaméricos o segmentados.

Los metámeros pueden ser replicaciones idénticas de estructuras y órganos; la similitud puede ser tan extrema que se manifiesta tanto interna como externamente. Esta repetición seriada de segmentos puede ser alterada por simplificación, coalescencia de segmentos o diferenciación entre segmentos.

La metamería es un rasgo destacado en el filo Anélidos (poliquetos marinos, lombrices terrestres y sanguijuelas). Cada segmento repite músculos, vasos sanguíneos, ganglios nerviosos, sacos celómicos, órganos excretores y anexos tegumentarios. Está también presente en quinorrincos, artrópodos y cordados. Los céstodos (tenias) exhiben un patrón similar de metamería, pero procede de un esquema diferente de segmentación corporal, circunstancia que ha conducido a la denominación de pseudo-metamería o pseudo-segmentación.

Los atributos del metamerismo son:

- confinamiento a los segmentos intermedios (tronco), quedando exceptuados los segmentos terminales tanto anterior (cabeza) como posterior (pigidio o telson).
- los metámeros nuevos se incorporan a la serie pre-existente de metámeros en secuencia longitudinal.

- cada segmento representa una unidad funcional que trabaja en coordinación con el resto de los segmentos.

5.1. Tipos de metamería

5.1.1 Verdadera: la segmentación del cuerpo se desarrolla a partir de la segmentación del mesodermo. Presente en anélidos, cordados y artrópodos. Los segmentos nuevos surgen desde el extremo posterior, por delante del pigidio. O sea, los segmentos más recientes y más antiguos se disponen cerca del ano y de la cabeza, respectivamente.

Se subdivide en:

- Homónoma: cuando los segmentos corporales o somitos son en su gran mayoría casi idénticos entre sí. Ejemplos: algunos poliquetos y oligoquetos.
- Heterónoma: cuando los segmentos son disímiles en diferentes partes del cuerpo. Forman regiones o subconjuntos de segmentos diferenciados morfo-funcionalmente entre sí. En artrópodos, las diferentes regiones del cuerpo resultantes de la fusión de segmentos se llaman tagmas. Ejemplos: poliquetos tubícolas, sanguijuelas, artrópodos y cordados.

Se puede, a su vez, tipificar en:

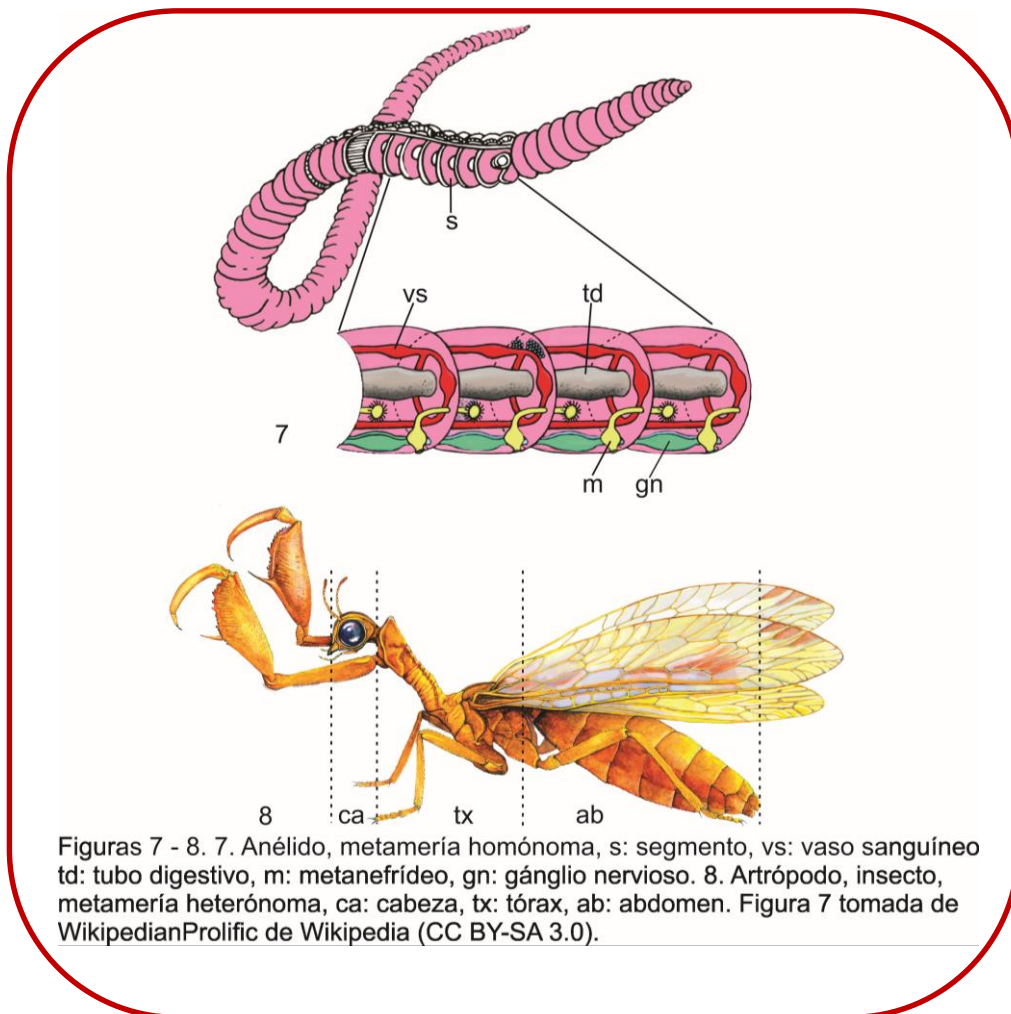
- Interna: se expresa en el embrión y afecta a los sistemas muscular, nervioso y esquelético. Ejemplo: cordados.
- Externa: se circunscribe al tegumento y se manifiesta a través del anillamiento superficial del cuerpo. Ejemplo: artrópodos
- Mixta: es visible tanto externa como internamente; externamente hay constricción de la piel a nivel de los surcos intersegmentarios e internamente está marcado por particiones o septos (aposición doble de membranas peritoneales). Ejemplo: anélidos

Y también como:

- Completa: sólo se observa en anélidos e involucra a la casi totalidad de sistemas fisiológicos.

- Incompleta: está afectado un subconjunto menor de órganos, los cordados y artrópodos tienen metamerismo incompleto.

5.1.2 Pseudo- metamería (o estrobilización): procede por segmentación del ectodermo. Presente en cestodos del filo Platelminfos. El cuerpo está formado por una serie de unidades corporales o proglótides con un grado variable de maduración. Son autónomos y los nuevos elementos surgen desde el extremo anterior del organismo en crecimiento. Puede presentar repetición de ciertos sistemas pero internamente no hay separación por tabiques o septos.



5.2 Consecuencias funcionales de la metamería

Entre los beneficios funcionales de un cuerpo con verdadera metamería, podemos mencionar:

- facilitar la evolución modular de estructuras;
- ayudar a la locomoción, específicamente al hábito excavador. Por ejemplo, la colonización del interior del fondo oceánico se vio facilitada

por las ondas contráctiles de un organismo metamérico con esqueleto hidrostático;

- ayudar a la división y progresión secuencial del trabajo.

Comprender y entender los principales aspectos que clasifican a los animales dentro del Reino, es fundamental para entender la evolución de los diferentes linajes desde los organismos más simples a los más complejos. Dimensionar la importancia de estos criterios ayudará al lector a entender bajo que contextos se desarrollan y desenvuelven los animales, en relación con su entorno, y de esta forma interpretar de manera natural y lógica porque los animales son como son y viven donde viven. El verdadero desafío de este capítulo es que el lector despierte su curiosidad e interés en seguir indagando sobre los aspectos generales que presentan todos los animales y buscar las generalidades y las excepciones a todas las reglas. El Reino Animal es un mundo lleno de excepciones por descubrir.



¿SABIAS QUE...?

El concepto de metameria se entronca naturalmente con otro concepto central en Evolución y Biología del Desarrollo: la noción de modularidad. Cada metámero puede ser considerado un módulo o sea una unidad discreta cuyas partes intervinientes están altamente conectadas, conservan cierto grado de autonomía y permanecen conectada al resto del organismo. Según muchos autores, este fenómeno es un facilitador de la Evolución, ya que los cambios pueden focalizarse en el módulo sin compromiso del resto. En la vida diaria encontramos análogos, valga como ejemplo el siguiente inspirado en la arquitectura doméstica: un baño puede modificarse y no el resto de la casa, pero el resultado es una casa con funcionalidad renovada, una nueva entidad. Las unidades modulares permiten que ciertas partes del cuerpo cambien sin interferir con las funciones de otras partes. Los módulos pueden agregarse y conformar algo nuevo en otro nivel jerárquico de organización, y ello es precisamente lo que acontece en la metamería heterónoma donde unidades repetitivas se fusionan en una región corporal capaz de desempeñar funciones específicas como por ejemplo, locomoción o reproducción.

TEGUMENTO

El tegumento es la cubierta externa del cuerpo, una envoltura protectora tisular compleja, monoestratificada o pluriestratificada dependiendo de los grupos y las estructuras derivadas de ella, tales como pelos, sedas, escamas, plumas y cuernos. El tegumento en los animales tiene múltiples funciones, entre las que podemos mencionar:

- protección mecánica contra la abrasión
- defensa ante la invasión de microorganismos
- barrera contra la pérdida o ganancia excesiva de fluidos o iones
- protección contra la radiación ultravioleta excesiva
- protección contra depredadores
- regulador de la temperatura corporal en animales endotérmicos
- comunicación sexual y social a través del olor, producido por sus glándulas, y a través de la pigmentación

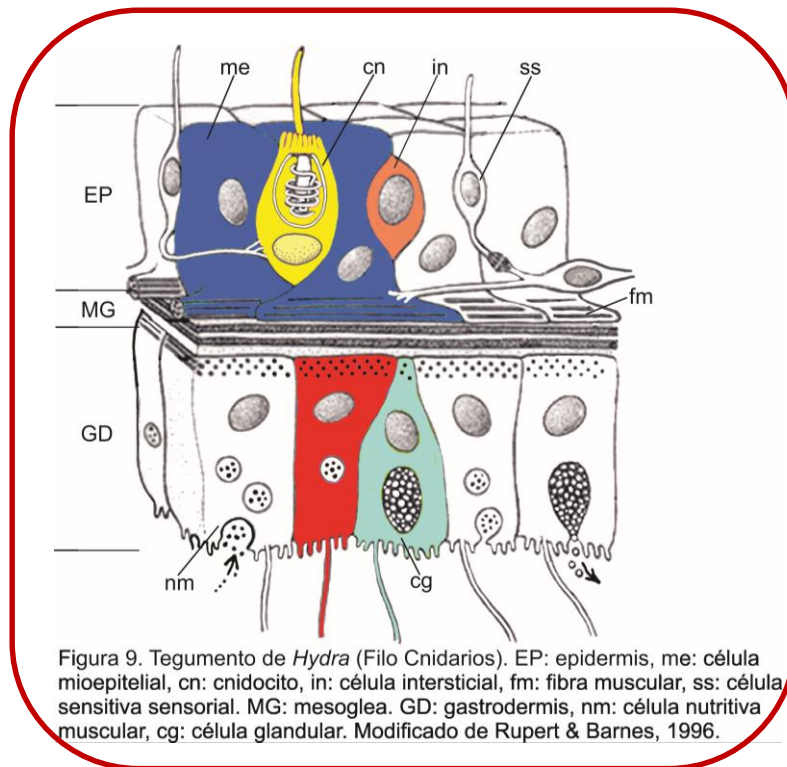
Muchas veces, el tegumento está involucrado en funciones vitales como la respiración y la excreción. Además participa en la recepción de estímulos externos al contar con receptores sensoriales.

Los poríferos, el grupo basal dentro del Reino Animal, no poseen verdaderos tejidos, por lo que no se diferencia en ellos una cubierta tisular. La pared corporal de las esponjas consta de una capa externa denominada pinacodermo, un agregado de células aplanadas que también tapizan los canales y que en la región basal secretan un compuesto fibrilar de polisacáridos y colágeno, para fijar el individuo al sustrato.

Sin embargo, la mayor parte de los invertebrados presentan coberturas tisulares complejas. La principal es la **epidermis** monoestratificada; sobre la cual muchos organismos segregan una cutícula acelular a modo de protección adicional. Subyacente a la epidermis se puede desarrollar o no, una capa de tejido conjuntivo y musculatura circular y/o longitudinal que en conjunto forman la pared corporal del animal

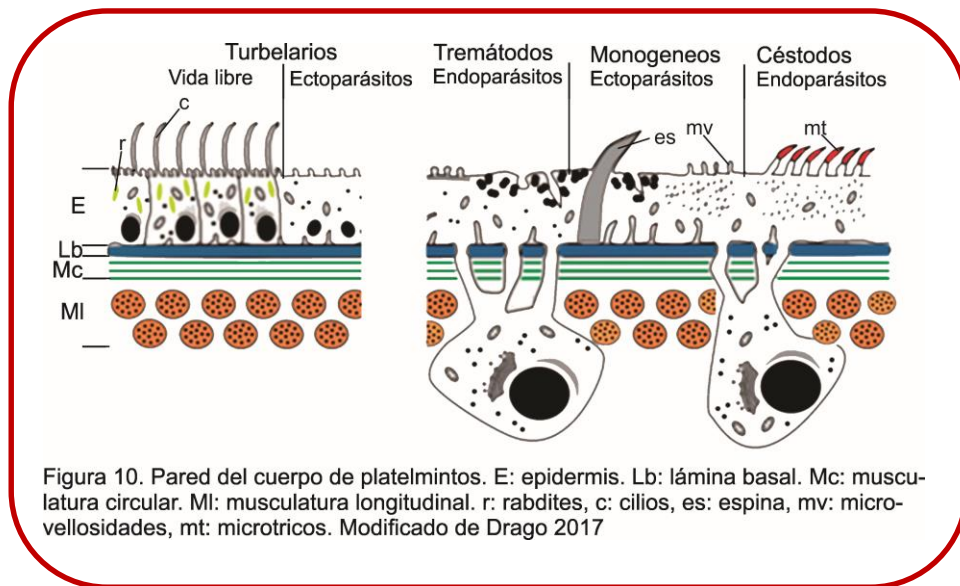
La epidermis varía en los diferentes grupos. En los cnidarios contiene unas células especiales denominadas mioepiteliales, consideradas por algunos autores como el tipo más primitivo de células musculares de los metazoos, además de células glandulares, sensitivas, células indiferenciadas (células

intersticiales) y los cnidocitos (células urticantes típicas de los cnidarios) (Figura 9).



En el caso de los platelmintos (Figura 10), los turbelarios presentan una epidermis formada total o parcialmente por un epitelio ciliado, celular o sincitial, con células glandulares y terminaciones nerviosas sensoriales. Las células glandulares producen una secreción mucosa que puede servir para evitar la desecación y también para el intercambio gaseoso; en otros casos puede facilitar la locomoción, ya que hay un predominio de células glandulares en la región ventral del cuerpo; y en otros la secreción mucosa alrededor de la boca facilita la captura de presas y su ingestión. Otra característica notable de los turbelarios son unas estructuras epidérmicas llamadas **rabdites**, que son estructuras celulares semejantes a varillas, producidas por las células epiteliales y almacenadas en el interior de la epidermis. Cuando se liberan producen gran cantidad de moco para proteger al animal de la desecación y contra potenciales depredadores. En el caso de las formas parásitas, como cestodos y tremátodos, estos poseen una cubierta llamada tegumento, más que una epidermis propiamente dicha; presentan una disposición epidérmica particular relacionada a su modo de vida como parásitos. En este caso, el tegumento está constituido por prolongaciones citoplasmáticas no ciliadas, cuyos cuerpos celulares están hundidos en el mesénquima. A través de esta cubierta corporal se da el

intercambio de gases y nutrientes. En el caso de los cestodos, su superficie corporal está aumentada por la presencia de pliegues diminutos, llamados microtricos, los cuales pueden interdigitarse con las microvellosidades del intestino del hospedador, lo que favorece la absorción de los nutrientes.



En los anélidos se observa una cutícula delgada secretada por la epidermis y formada por fibras de escleroproteínas y mucopolisacáridos. Aquí, la epidermis está constituida por un epitelio columnar que en ciertas partes del cuerpo es ciliado. Con excepción de las sanguijuelas, todos los anélidos llevan quetas (también llamadas sedas o cerdas) quitinosas, formadas a partir de la epidermis. Estas quetas pueden ser cortas, como agujas, participando en la locomoción como es el caso de las lombrices; largas a modo de pelos ayudando en la natación en oligoquetos acuáticos; o fuertes y gruesas en los poliquetos marinos tubícolas, ayudando a fijar al organismo dentro del tubo. También tienen función sensorial.

En los moluscos el cuerpo está cubierto por una gruesa capa de “piel” formada por la cutícula y la epidermis, denominada **manto** que, aparte de tener un papel fundamental en la organización corporal, secreta el esqueleto calcáreo característico del grupo. La cutícula está formada por aminoácidos y escleroproteínas (conquiolina). La epidermis en general es una capa monoestratificada de células cúbicas o columnares, ciliadas en la mayor parte del cuerpo. Algunas células intervienen en la formación de la cutícula, otras son células glandulares productoras de moco y otras, en la región dorsal del cuerpo,

son células epidérmicas especializadas que constituyen la glándula de la concha, las que producen espículas calcáreas que formarán la conchilla. Además, presentan células epidérmicas que darán origen a las papilas epidérmicas sensoriales. Dentro de los moluscos, los sifonópodos (pulpos y calamares por ejemplo) son notables por su capacidad para cambiar de coloración; su tegumento presenta células pigmentarias o **cromatóforos**. Estos pueden contraerse o dilatarse individualmente, lo que produce que el pigmento en la célula, se muestre como una lámina exhibiendo su color o por el contrario se concentre, y sea imperceptible. Los cromatóforos son contraídos o expandidos por acción muscular, por lo que su actividad es sumamente rápida, lo que permite al organismo cambiar de color o patrón casi instantáneamente. Los pigmentos de los cromatóforos pueden ser: negro, amarillo, naranja, rojo y azul.



¿SABIAS QUE...?

Los pulpos son maestros del camuflaje y existen varias razones que lo explican. No solo pueden cambiar de color sino también la textura de su piel y hasta su forma corporal. Su color cambia por acción de los cromatóforos, los cuales se contraen o expanden por acción muscular muy rápidamente. La textura de la piel puede cambiar por la acción de músculos especiales, lo que produce que su piel generalmente lisa, se torne rugosa. También presentan comportamientos posturales que los hacen imperceptibles en el medio, pueden enroscarse como corales o desplazarse lentamente sobre el fondo marino, simulando ser parte de él.

Los artrópodos presentan uno de los sistemas tegumentarios más complejos dentro de los metazoos, ya que no solo tiene función de protección sino también como soporte esquelético. El tegumento está formado por una epidermis monoestratificada, que secreta una **cutícula** compleja. Esta cutícula consta de una capa interna llamada procutícula formada por proteínas y quitina y una capa externa, la epicutícula, más delgada que la primera, conteniendo proteínas y lípidos que actúan como una barrera protectora, impermeabilizando la superficie. Esta cutícula puede endurecerse por el depósito de carbonato de calcio en los crustáceos. En otros casos, como en los insectos, se deposita una proteína insoluble y muy resistente, la esclerotina, en un proceso de

esclerotización. La cutícula se cambia periódicamente para permitir el crecimiento del animal (a través del proceso de muda o ecdisis).

En los equinodermos el cuerpo está cubierto por una epidermis situada sobre una dermis de origen mesodérmico. La dermis contiene los osículos, que son los elementos esqueléticos que formarán el endoesqueleto. Los osículos, a menudo, producen elevaciones superficiales como tubérculos, gránulos y diversos tipos de espinas fijas y móviles que se observan en la superficie corporal de la mayoría de los miembros de este filo. Otras veces pueden presentar estructuras a modo de pinzas, los pedicelarios, exclusivas del grupo y de origen mesodérmico.

En el caso de los vertebrados, el tegumento incluye una delgada capa externa y estratificada de células epiteliales de origen ectodérmico y una capa más gruesa, la dermis, de origen mesodérmico. Subyacente a la dermis se encuentra una capa de tejido conjuntivo llamada hipodermis. La epidermis es un epitelio escamoso estratificado que origina la mayor parte de estructuras derivadas del tegumento (plumas, picos, pelos, uñas y pezuñas). Las células basales de la epidermis están en continua división mitótica, aumentando su número para reemplazar gradualmente a las células más superficiales. Las células epidérmicas van acumulando en su interior una proteína fibrosa muy resistente llamada queratina. Esta proteína reemplaza prácticamente al citoplasma de la célula, la cual muere, siendo continuamente erosionadas o descamadas. Estas células pueden formar, en algunos casos, un estrato córneo muy resistente a la abrasión y a la pérdida de agua.

La dermis es un tejido conjuntivo denso que contiene vasos sanguíneos, fibras de colágeno, nervios, células pigmentarias, células adiposas y fibroblastos. Los nutrientes enviados a la dermis a través de los vasos sanguíneos difunden a la epidermis, ya que ella no los posee. La dermis también puede tener estructuras óseas de origen dérmico como las escamas de los peces óseos actuales. Los huesos dérmicos también forman la armadura externa de los cocodrilos por ejemplo, o parte del caparazón de las tortugas y de los armadillos. En el caso de los peces, sobre las escamas se diferencia la epidermis con células vivas, la cual da el color ornamental a los peces, una capa interna con células glandulares y bajo ellas una capa basal. En el caso de anfibios, la dermis

presenta glándulas mucosas y serosas, estas últimas productoras de sustancias tóxicas y venenosas que son de origen epidérmico, pero que se encuentran en la dermis. Lo mismo sucede con los folículos pilosos y glándulas sebáceas o sudoríparas de los mamíferos, estas son de origen epidérmico pero que también se hunden en la dermis.

La piel, a lo que también llamamos tegumento es un órgano. En realidad, es el órgano más grande del cuerpo humano, ya que constituye aproximadamente el 7% del peso corporal.

6.1 Anexos tegumentarios

Son anexos tegumentarios todas aquellas estructuras formadas a partir del tegumento, tales como: escamas (de peces o reptiles), plumas, garras, picos, uñas, pelo, entre otras que cumplen funciones definidas.

Las escamas de los reptiles y las plumas de las aves son homólogas, porque tienen igual origen epidérmico. Ambas estructuras se forman a partir de una elevación epidérmica superficial superpuesta a una papila dérmica que la nutre y permite su desarrollo y crecimiento.

Las estructuras como garras, picos y uñas, están formadas por una mezcla de componentes epidérmicos queratinizados y dérmicos. Tienen una organización básica similar: una zona central ósea recubierta por una capa dérmica vascularizada y nutritiva, y una capa epitelial externa muy queratinizada, la cual es responsable del crecimiento continuo de estas estructuras. A pesar de este crecimiento continuo, no se llega a tamaños exagerados debido al desgaste producido por el rozamiento y la abrasión constante a la que están sometidas.

Las astas y cuernos de muchos vertebrados son también anexos tegumentarios. Las astas son estructuras óseas ramificadas que se cambian anualmente; cuando comienzan a crecer, están revestidas por un terciopelo o felpa que lleva pelos y vasos sanguíneos, el cual es eliminado al finalizar el período de crecimiento. Las astas están presentes en los machos de los cérvidos (ciervos o venados). En cambio, los cuernos están formados por un núcleo óseo y una vaina de queratina de crecimiento continuo y no se renuevan nunca. Es típico de los bóvidos (toros, antílopes, ovejas, cabras) y tanto machos como hembras pueden presentarlos. El llamado cuerno de rinoceronte, no tiene la

estructura de un cuerno, sino que está formado por queratina a partir de las células epidérmicas y fibras córneas formadas a partir de papilas dérmicas.

El pelo es un carácter propio de todos los mamíferos (Figura 11). En el desarrollo inicial del pelo se identifica un grupo de células epidérmicas basales que se proyectan como una yema en dirección descendente hacia la dermis, constituyendo el folículo piloso. El pelo incipiente se presenta como un cono de células epidérmicas de rápida proliferación que, durante su desarrollo, es infiltrado por melanocitos, los cuales se ubican estrechamente en la raíz del folículo. Conjuntamente con el desarrollo del folículo piloso se forma una glándula sebácea en la porción media de este y un músculo piloerector, compuesto de fibras musculares lisas, que lo ancla desde la vaina interna del folículo a la dermis cercana. A medida que el tallo del pelo es empujado hacia arriba, las células distales mueren y se cargan de queratina, siendo esta la proteína estructural que forma el pelo.

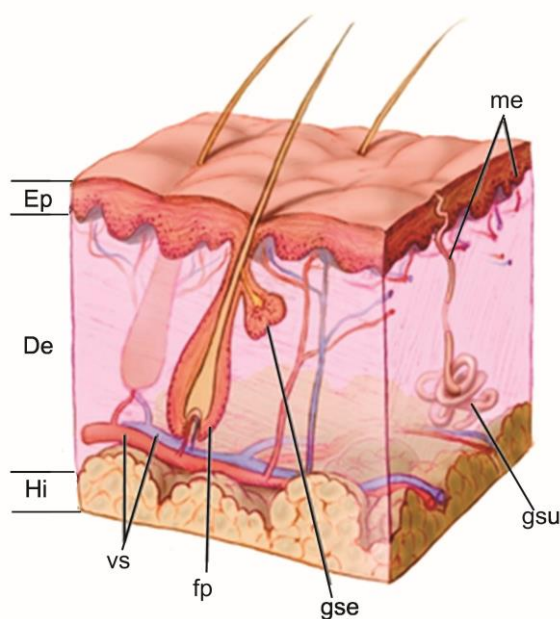


Figura 11. Corte transversal del tegumento de un mamífero. Ep: epidermis. De: dermis. Hi: hipodermis. me: melanocito, gsu: glándula sudorípara, gse: glándula sebácea, fp: folículo piloso, vs: vasos sanguíneos. Tomado de WIKIMEDIA COMMONSFile:Anatomy The Skin - NCI Visuals Online.jpg, Public Domain <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75809331>

Agradecimientos

Al Prof. Dr Daniel Emmerich por la lectura crítica de este capítulo y a la Sra Analía Dupuy por autorizarnos a usar el dibujo de la Figura 8.

Referencias

La información de este capítulo fue tomada de:

BOERO, F., B. SCHIERWATER, & S. PIRAINO. 2007. Cnidarian milestones in metazoan evolution. *Integrative and comparative biology*, 47(5), 693-700.

BRUSCA, R. S. & G. J. BRUSCA. 2005. *Invertebrados*. 2º Ed. Sinauer Associates. U. S. A

CAMPBELL, N. & J. REECE. 1998. *Biología*. 7º Edición. Editorial Panamericana.

CLUNE J., J-B. MOURET, H. LIPSON 2013. The evolutionary origins of modularity. *Proceedings of the Royal Society B*. 280: 20122863.

COUSO, J. P. 2009. Segmentation, metamerism and the Cambrian explosion. *International Journal of Developmental Biology*, 53(8-9-10), 1305-1316.

DRAGO ,F.B. 2017. *Libros de cátedra: Macroparásitos, Diversidad y Biología*. Facultad de Cs. Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata. La Plata.

GILBERT, S. F.2000. *Developmental Biology*. Sunderland, Mass: Sinauer Associates.

HICKMAN, C. P.; L. S. ROBERTS & A. PARSON. 2007. *Principios integrales de Zoología*. Edición 11º. Editorial Interamericana.

KEETON, W.T & J.L. GOULD. 1986. *Biological Science* 4th ed. New York: Norton, USA

MERUANE, M. & ROJAS, M. 2012. Desarrollo de la piel y sus anexos en vertebrados. *Int. J. Morphol.*, 30(4):1422-1433.

MOORE, J. 2001. *An introduction to the invertebrates*. Cambridge University Press.

RUPPERT, E. E., & R.D. BARNES. 1996. *Zoología de los invertebrados*.(6ta Edición), México.

ZRZAVY, J. & STYS, P. 1995. Evolution of metamerism in Arthropoda: developmental and morphological perspectives. *The Quarterly Review of Biology*, 70(3), 279-295.

