

Modelos adaptativos en Zoología (Manual de prácticas)

1. Pruebas anatómicas y taxonómicas de la evolución: homologías, analogías, simetrías.

Juan Pérez Zaballos. Ana García Moreno.

Departamento de Zoología y Antropología Física. Facultad de Ciencias Biológicas.
Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.
zaballos@bio.ucm.es agmoreno@bio.ucm.es

Resumen: En este trabajo se describen los criterios empleados para explicar las semejanzas entre las estructuras corporales de algunos animales: homología, analogía y homoplasia. También se describen los aspectos generales de los planes arquitectónicos animales, con sus ejes y planos de simetría.

Palabras clave: Modelos arquitectónicos. Homología. Analogía. Homoplasia. Simetría. Asimetría.

INTRODUCCIÓN

Salvo algunas tendencias extremistas religiosas, que defienden aún las teorías creacionistas sobre el origen de los seres vivos, la evolución biológica, microevolución y macroevolución, es aceptada actualmente sin reservas por el mundo científico.

Desde las primeras ideas evolucionistas hasta la actualidad se ha recorrido un largo camino, se han defendido numerosas teorías, algunas han tenido éxito y son aceptadas actualmente, y otras han sido rechazadas. El éxito de las teorías aceptadas actualmente se debe, principalmente, a que los científicos que las han defendido han conseguido demostrar sus hipótesis aportando pruebas de índole diversa: taxonómicas, biogeográficas, paleontológicas, anatómicas, embriológicas, bioquímicas, serológicas, etc.

PRUEBAS ANATÓMICAS: HOMOLOGÍA, ANALOGÍA Y HOMOPLASIA

Fue Richard Owen (1804-1892) quien a partir de 1839 desarrolló y definió los conceptos de [homología](#) y [analogía](#).

Las semejanzas de determinadas partes entre organismos diferentes pueden explicarse atendiendo a tres criterios: origen, función y aspecto.

El término [homología](#) se aplica a dos o más caracteres que comparten un origen común, el término [analogía](#) se refiere a rasgos con una función similar y el término

homoplasia simplemente relaciona caracteres que se parecen. Estos tres conceptos no son excluyentes entre sí por lo que se puede representar la compatibilidad de los tres términos así (Fig. 1):

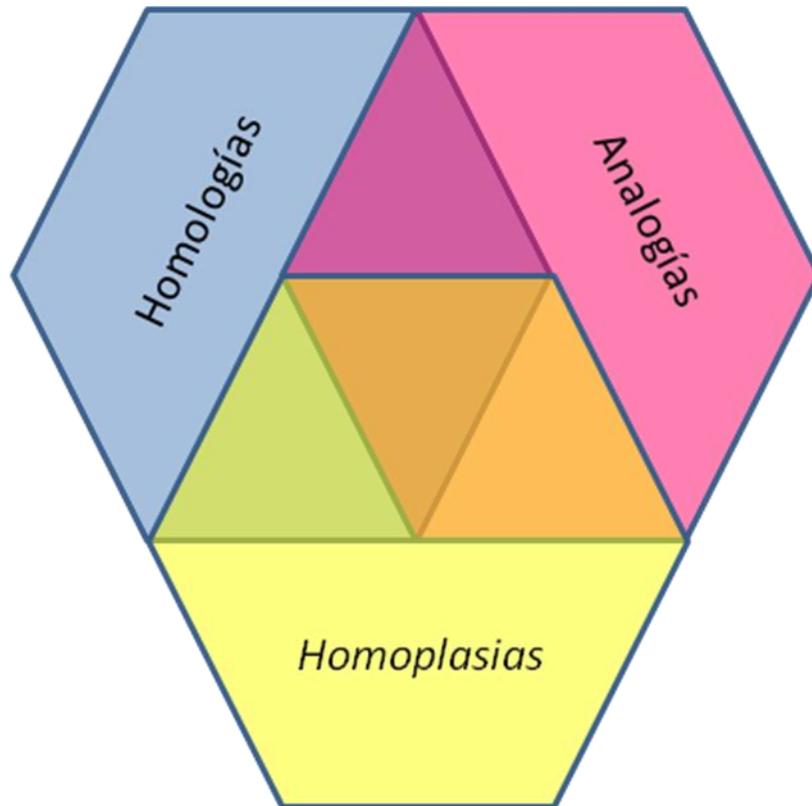


Figura 1. Compatibilidad de los términos homología, analogía y homoplasia.

¿Porqué es importante el reconocimiento de las homología?

El reconocimiento de las homología es lo que permite a los biólogos la reconstrucción de la historia evolutiva o **filogenia** de los organismos, trabajo que es llevado a cabo por los sistemáticos.

Discriminar entre homología y analogías no siempre es fácil, la llave está en el estudio de los detalles estructurales y no en las semejanzas superficiales (homoplasias).

Las semejanzas que resultan de una relación evolutiva se denominan **homología**, es decir, la homología reconoce similaridad basada en el origen común, aún cuando la estructura sea aparentemente diferente y realice funciones diferentes, como el pie ancho en forma de suela reptante de un caracol y el pie estrecho en forma de cono de un pelecípodo, lo que en este caso se denomina **evolución divergente**; mientras que las similitudes que provienen de adaptaciones funcionales paralelas se conocen como **analogías** y son el resultado de una **evolución convergente** que pueden o no tener un origen similar.

a) Ejemplos de analogía

- Las alas de los pterosaurios, murciélagos, aves e insectos son estructuras que realizan la misma función: volar. Son órganos análogos (Fig. 2).

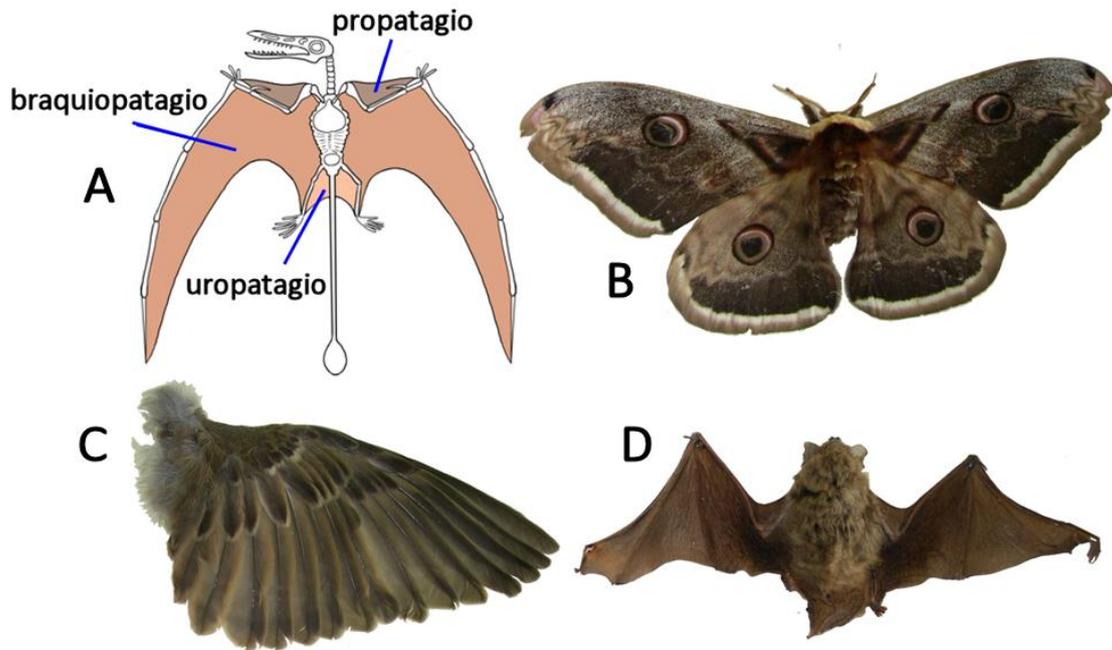


Figura 2. Representación de las alas. A. Pterosaurios. B. Mariposas. C. Aves. D. Murciélagos.

- La extremidad anterior del grillo topo (*Grillotalpa grillotalpa*) y del topo (*Talpa europaea*), tienen función excavadora, por lo que son estructuras análogas (Fig. 3).



Figura 3. A. Grillo topo. B. Topo.

b) Ejemplos de homología

- El estudio anatómico de las alas de pterosaurio, ave y murciélago, demuestra un mismo patrón estructural (el **quiridio** de los vertebrados tetrápodos) (Fig. 4). Son estructuras análogas, pero también homólogas. Todas ellas también son homólogas con las extremidades del ser humano.

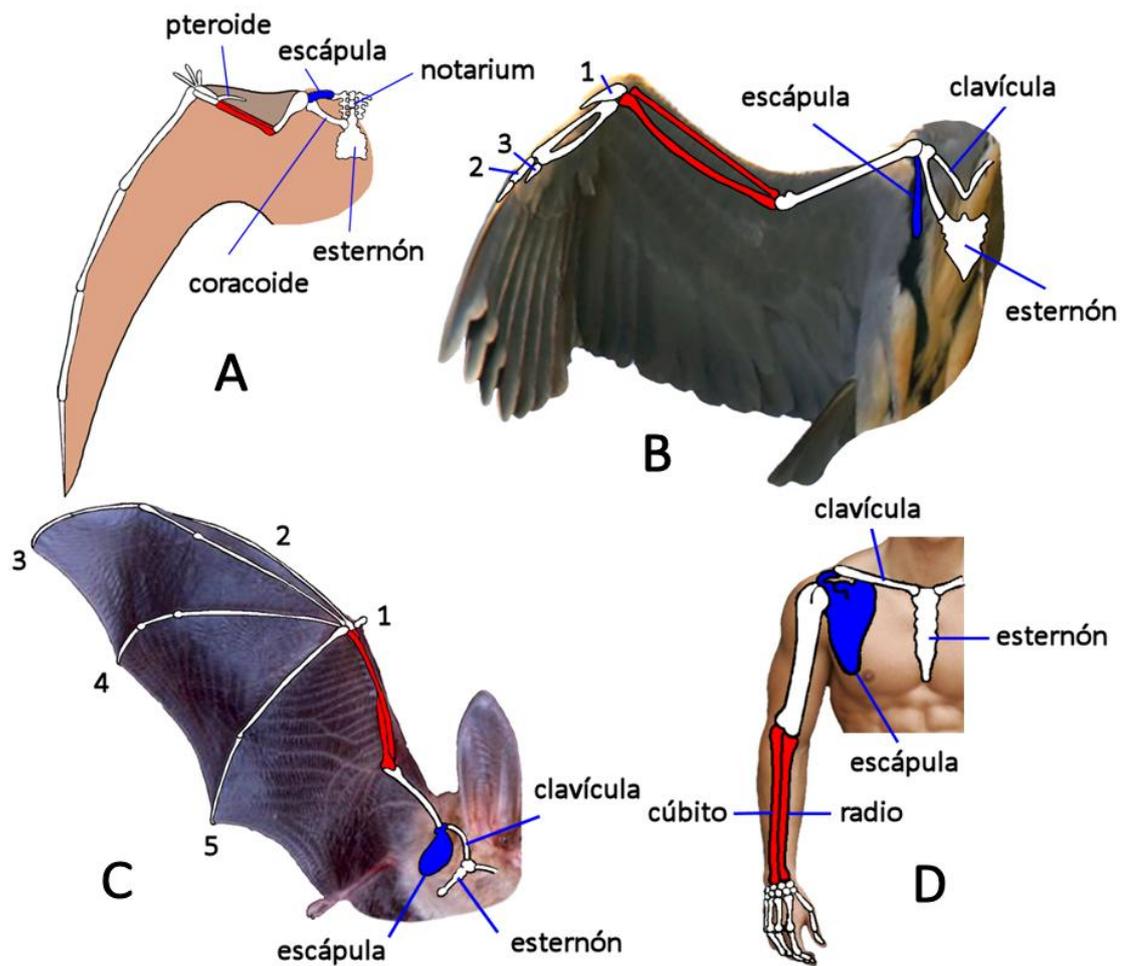


Figura 4. Estructura de las extremidades anteriores. A. Pterosaurio. B. Ave. C. Murciélago. D. Ser humano.

- La aparente diferencia entre los tipos de conchas de los moluscos no facilitan el reconocimiento de su origen común (Fig. 5). Son estructuras de clases diferentes de moluscos, pero originadas todas ellas por secreciones de la parte dorsal del manto.

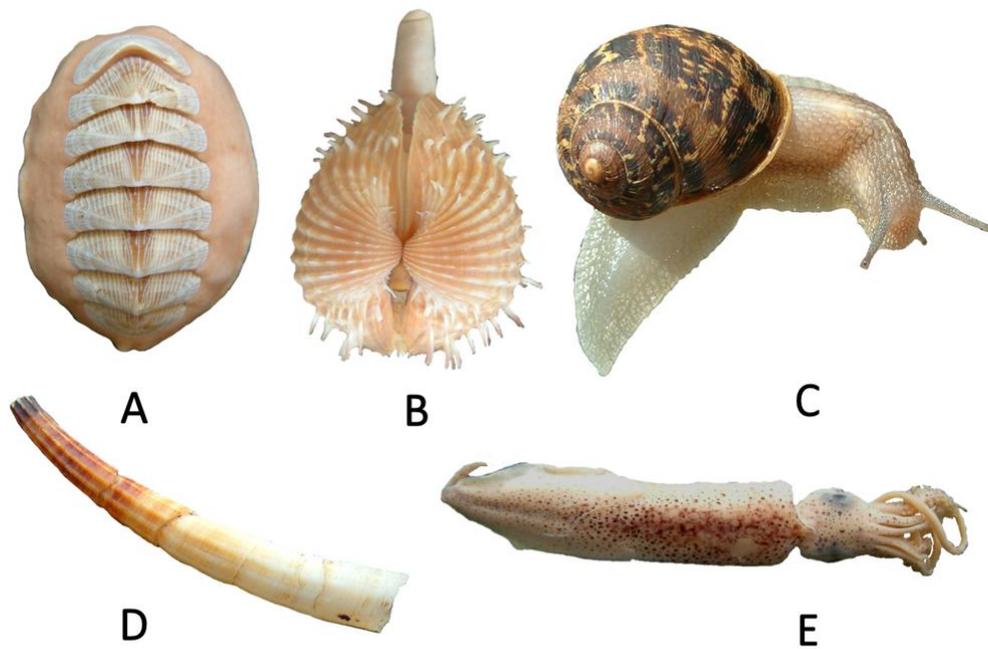


Figura 5. Conchas de Moluscos. A. Poliplacóforos. B. Pelecípodos. C. Gasterópodos. D. Escafópodos. E. Cefalópodos.

- Tanto la espina caudal del Xifosuro como la uña del escorpión son estructuras telsónicas. Su diferente aspecto y función dificultan la interpretación de un origen común (homología) (Fig. 6).

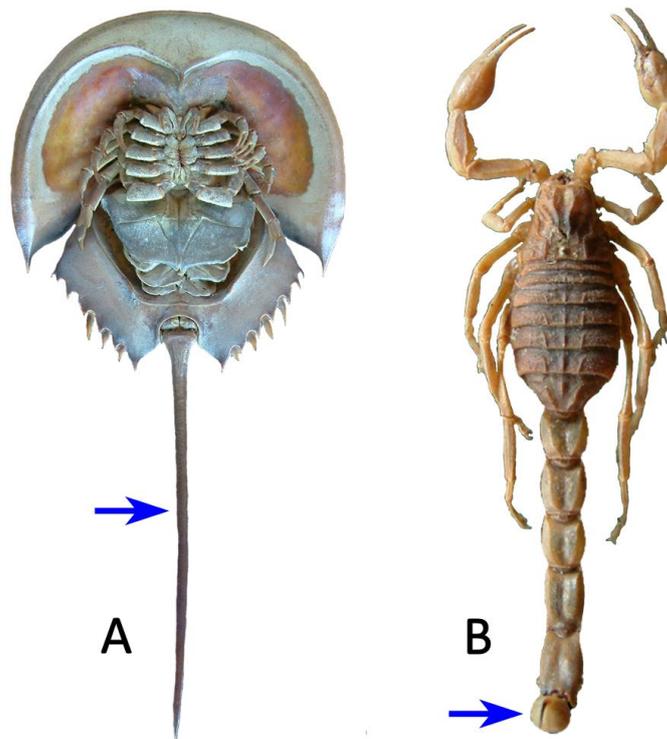


Figura 6. A. Xifosuro (vista ventral). B. Escorpión (vista dorsal).

- Las alas de todos los órdenes de insectos son homólogas entre sí (primer par en mesotórax, segundo par en metatórax) a pesar de su aspecto diferente (Fig. 7).

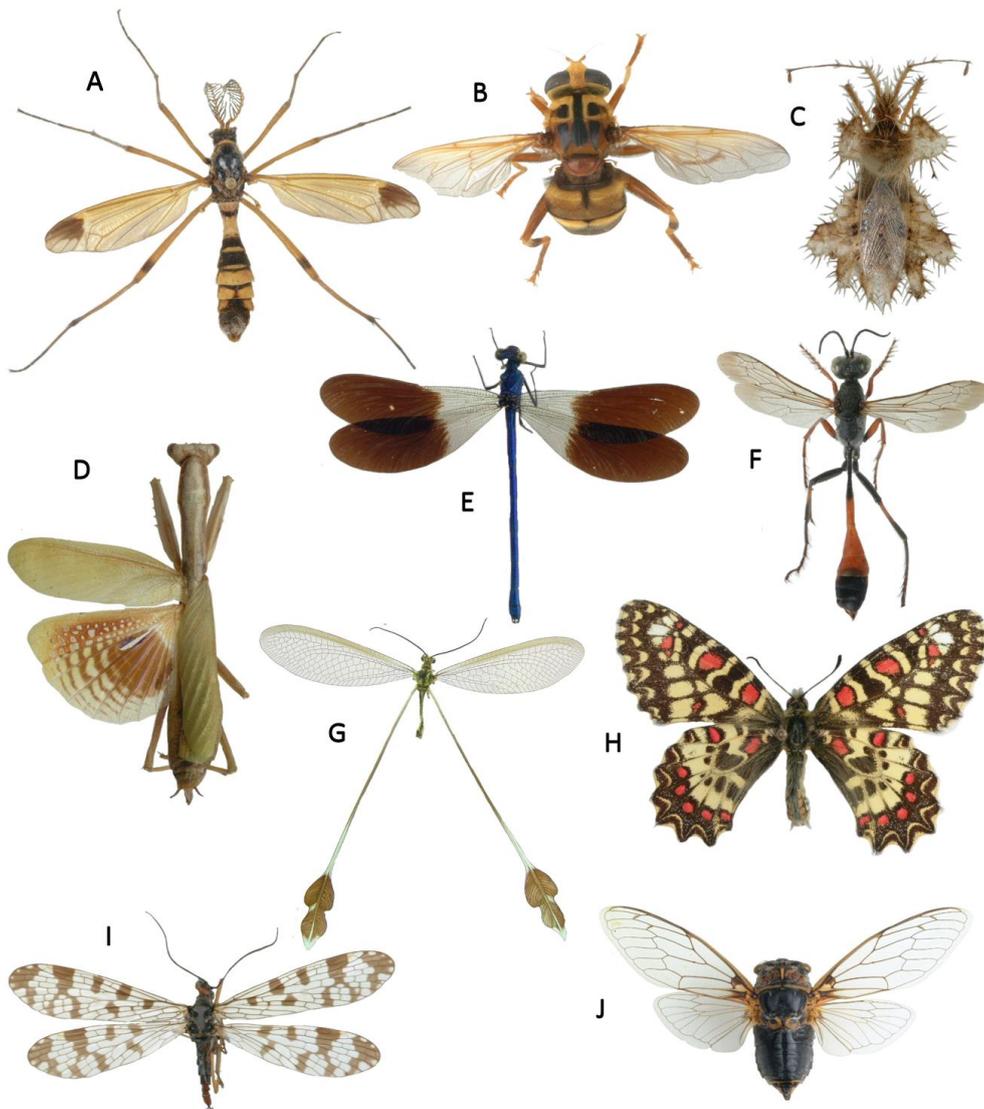


Figura 7. Ejemplos de alas de insectos. A y B. Dípteros. C. Hemíptero Heteróptero. D. Mantodeo. E. Odonato. F. Himenóptero. G. Neuroptero. H. Lepidoptero. I. Mecóptero. J. Hemíptero Homóptero.

c) Ejemplos de analogía + homoplasia

Las convergencias funcionales suelen coincidir en los diseños estructurales, por lo que es fácil encontrar asociadas las homoplasias con las analogías.

- Las patas anteriores raptoras de un insecto (*Mantis*) y un crustáceo (*Squilla*) (Fig. 8).

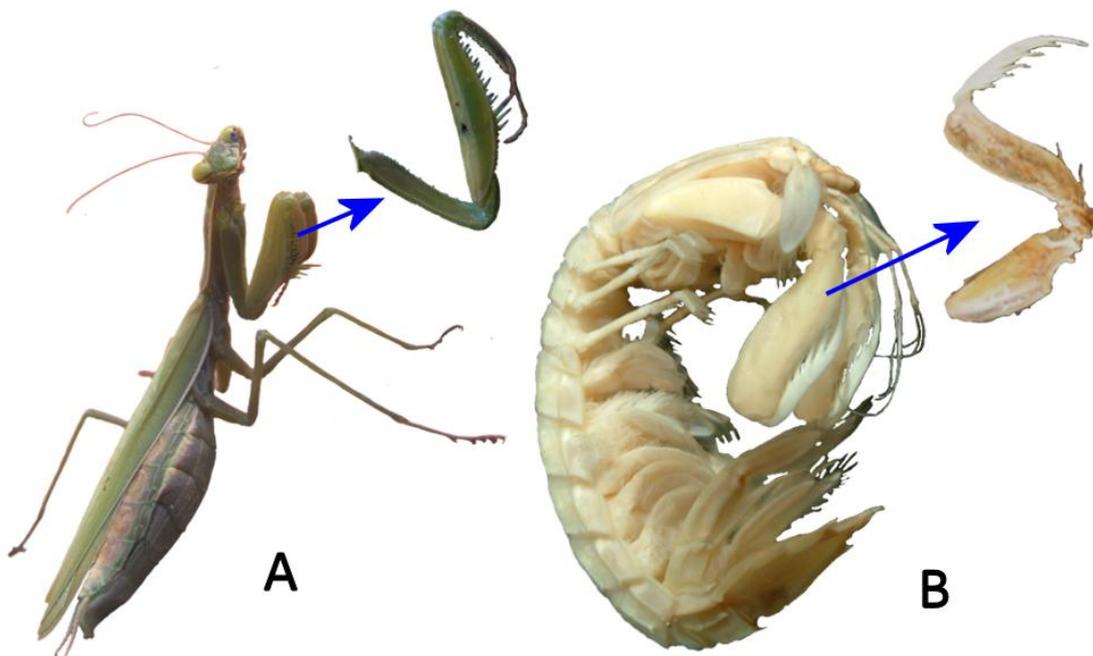


Figura 8. *Mantis* (A) y *Squilla* (B).

- Las patas del grillo topo (insecto) y las del topo (vertebrado) son análogas (excavación), pero también presentan un aspecto semejante (homoplasia) (Fig. 9).

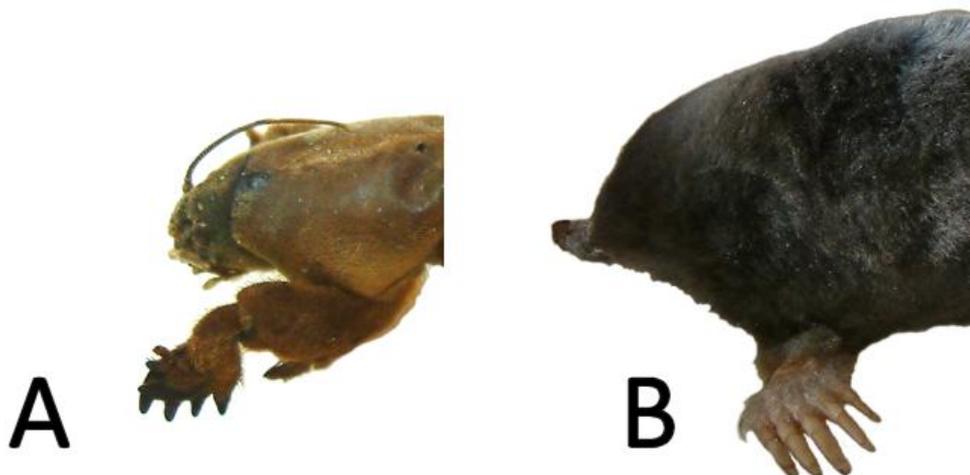


Figura 9. Porción anterior, en vista lateral izquierda de un grillo topo (A) y un topo (B).

d) Ejemplo de Homología + Analogía + Homoplasia

- Las aletas de cetáceos (mamíferos) y tortugas marinas (reptiles) se parecen superficialmente (homoplasia), tienen un origen común: quiridio de tetrápodos (homología), y realizan la misma función: nadar (analogía) (Fig. 10).

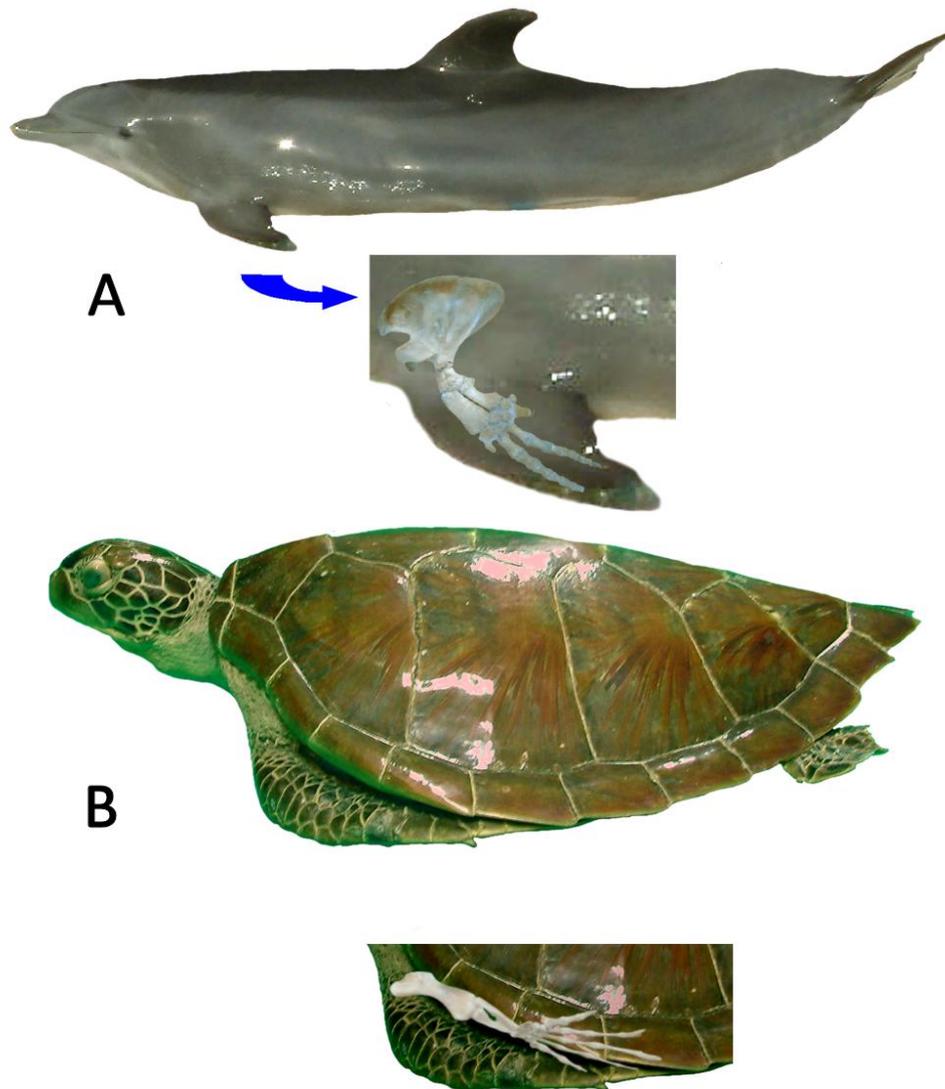


Figura 10. A. Delfín: ejemplar completo y detalle de la estructura de la aleta. B. Tortuga marina: ejemplar completo y detalle de la estructura de la aleta.

PRUEBAS TAXONÓMICAS: SIMETRÍAS Y ASIMETRÍAS

a) Simetrías

Hoy en día los zoólogos reconocen 35 filos animales multicelulares (HICKMAN *et al.*, 2009), cada uno de ellos caracterizado por un **arquetipo**¹ o modelo de organización propio y por un conjunto de propiedades biológicas que los distinguen de los demás filos.

¹ El término **arquetipo** es equivalente castellano del inglés **body plan** o del alemán **bauplan**, que equivale a decir **modelo de organización**. Se ajusta a la idea de patrón, modelo o diseño, y además tiene connotaciones temporales que se adaptan perfectamente a las concepciones filogenéticas que subyacen en los modelos morfológicos de los animales.

Una vez forjado, un arquetipo pasa a ser un factor limitante de la forma corporal para los descendientes de una línea evolutiva. Los moluscos dan lugar a moluscos, las aves a aves, sin otra posibilidad. A pesar de la aparición de adaptaciones estructurales y funcionales a los distintos modos de vida, la evolución de nuevas formas siempre tiene lugar dentro de los límites arquitectónicos del arquetipo ancestral del filo.

La diversidad animal queda, pues, recogida en un número limitado de planes de organización o arquetipos, los cuales están definidos, principalmente, por el tipo de simetría y por el diferente desarrollo de la cefalización, metamería y celoma.

La **simetría** trata del equilibrio de las proporciones, o correspondencia en tamaño y forma de las partes o estructuras situadas en lados opuestos de un plano que se denomina **plano de simetría**.

Los diferentes planos de simetría vienen marcados por uno o más **ejes corporales**, que son líneas imaginarias que pasan por el cuerpo. Cualquier cuerpo simétrico presenta un eje corporal **principal** que pasa por el centro del cuerpo. Los ejes **secundarios** pasan perpendicularmente por el eje principal a diferentes alturas (en el sentido antero-posterior o dorso-ventral) y se toman como **referencia** para marcar los planos de simetría.

Se habla de **eje de polaridad** cuando los dos extremos de un eje son distintos, como el eje antero-posterior de los bilaterales o el de los radiados.

Atendiendo a esta polaridad existe una terminología, cada vez más en desuso, por la que distinguimos:

Eje homoáxico: cuando existen múltiples ejes, todos iguales, como todos los que pasan por el punto central de una esfera (simetría esférica).

Eje heteropolar: cuando los dos extremos del eje son desiguales, como el oral-aboral de los radiados o el eje antero-posterior de los bilaterales.

Eje homopolar: cuando los dos extremos del eje son iguales, como ocurre en el caso del eje transversal en los bilaterales. En él no existe una polaridad manifiesta, por lo que también se utiliza el término **apolar** en estos casos.

Tipos de simetría

- La **simetría esférica** significa que cualquier plano que pase por el centro divide al cuerpo en mitades equivalentes o especulares. Este tipo de simetría se encuentra principalmente en ciertos protozoos (radiolarios, p.e.), y es rara en los animales (metazoos). Las formas esféricas son las mejor adaptadas a la flotación y a desplazarse por rodamiento.

- La **simetría radial** aparece en formas que pueden quedar divididas en mitades semejantes por más de dos planos que contengan su eje longitudinal (Fig. 11). Este tipo de simetría se encuentra, de forma **primaria**, en cnidarios.

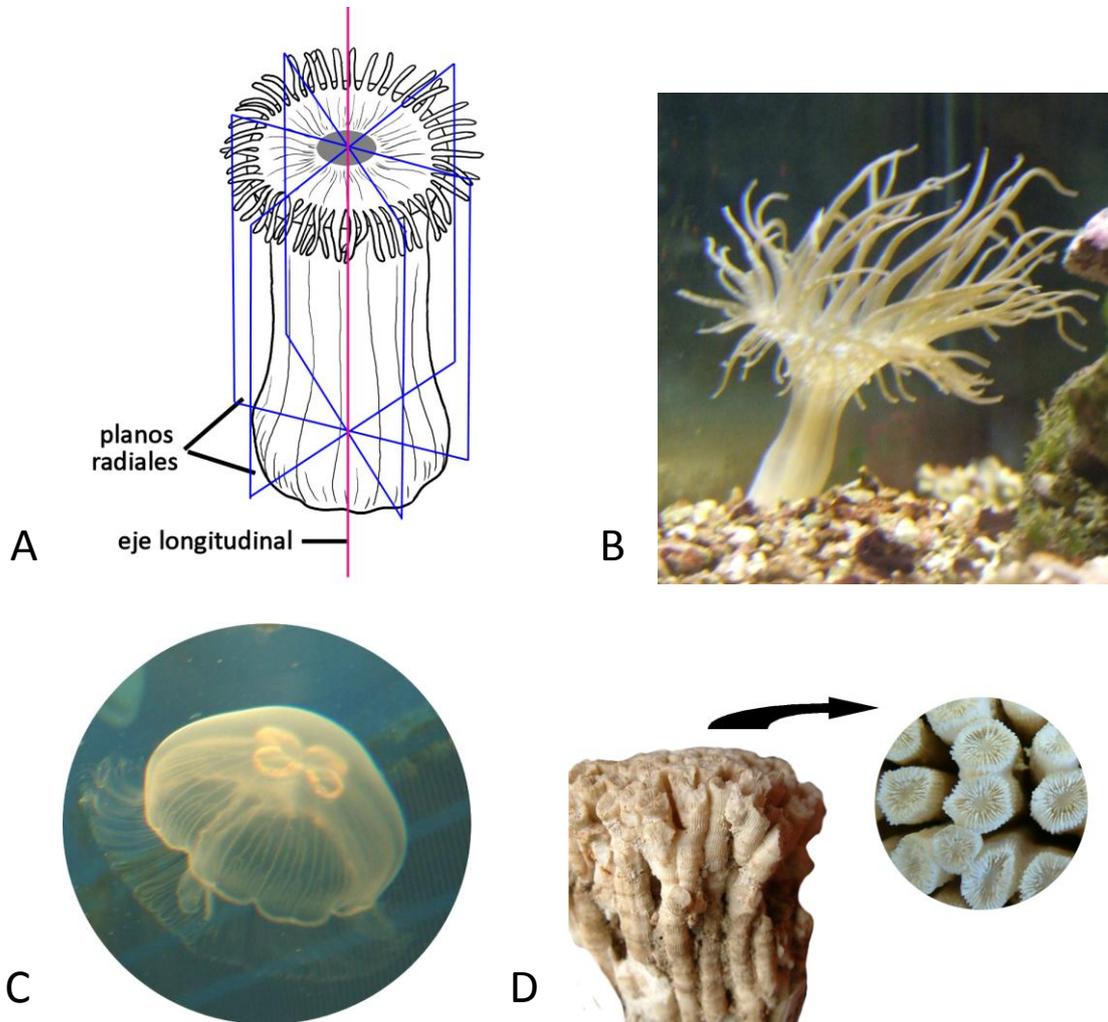


Figura 11. A. representación de la simetría radial. B. pólipo de antozoo. C. escifomedusa. D. esqueleto de hexacoralarío.

- La **simetría birradial** o **bisimetría** es una variante de la simetría radial, en la que sólo dos de los planos que pasan a través del eje oral-aboral producen mitades simétricas (Fig. 12). Sucede porque ciertas partes de su cuerpo son únicas (sifonoglifo de antozoos) o están emparejadas (tentáculos de ctenóforos).

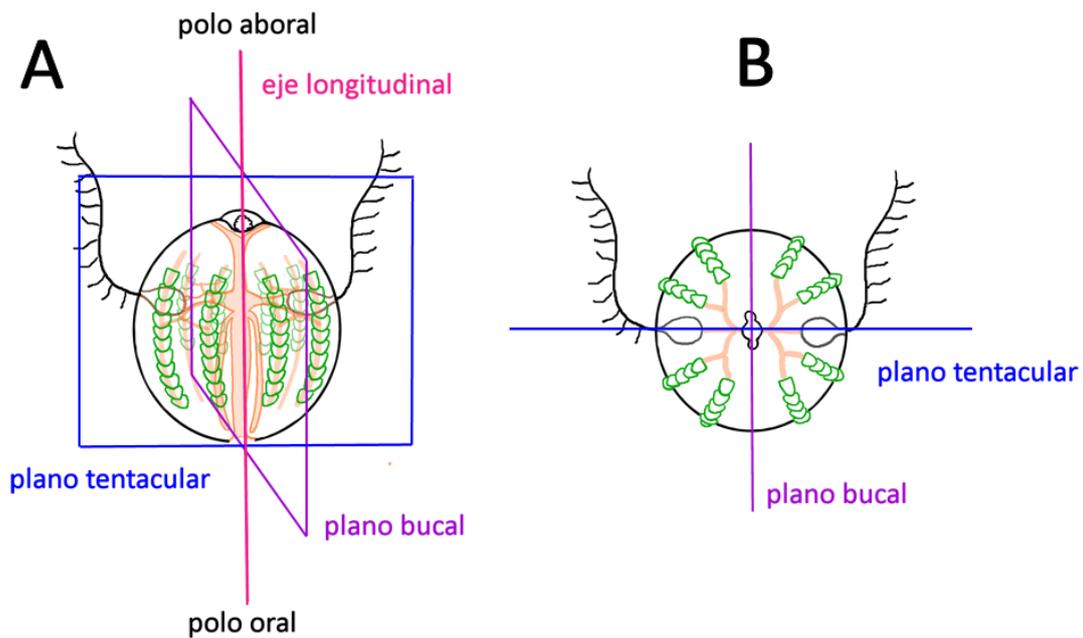


Figura 12. Representación de la simetría birradial de los ctenóforos. A. Vista radial. B. Vista aboral.

- Los equinodermos presentan otro tipo de simetría radial modificada, la **simetría pentarradial**, que deriva **secundariamente** a partir de una simetría bilateral ancestral, como demuestra su desarrollo post-embriionario. Algunos animales bilaterales sésiles han adoptado la simetría radial como adaptación para enfrentarse uniformemente al entorno en todas las direcciones.

Al igual que una tarta redonda o un queso manchego, el cuerpo de un equinodermo se puede dividir en una serie de porciones idénticas, cada una de las cuales se denomina **antímero** (Figs. 13 y 14).

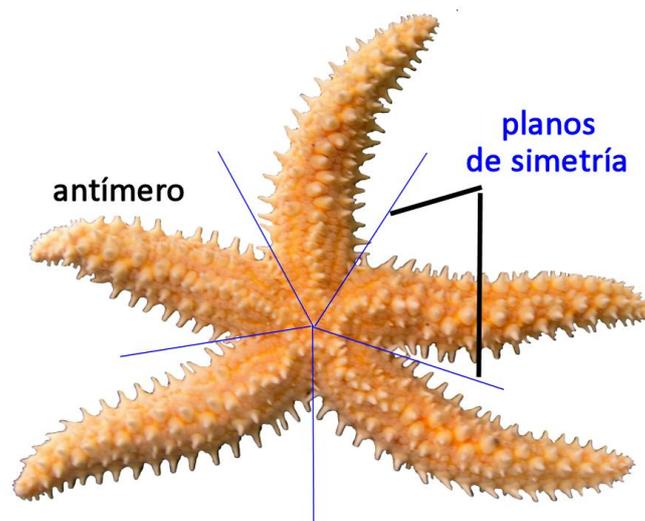


Figura 13. Estrella de mar (*Marthasterias* sp.).

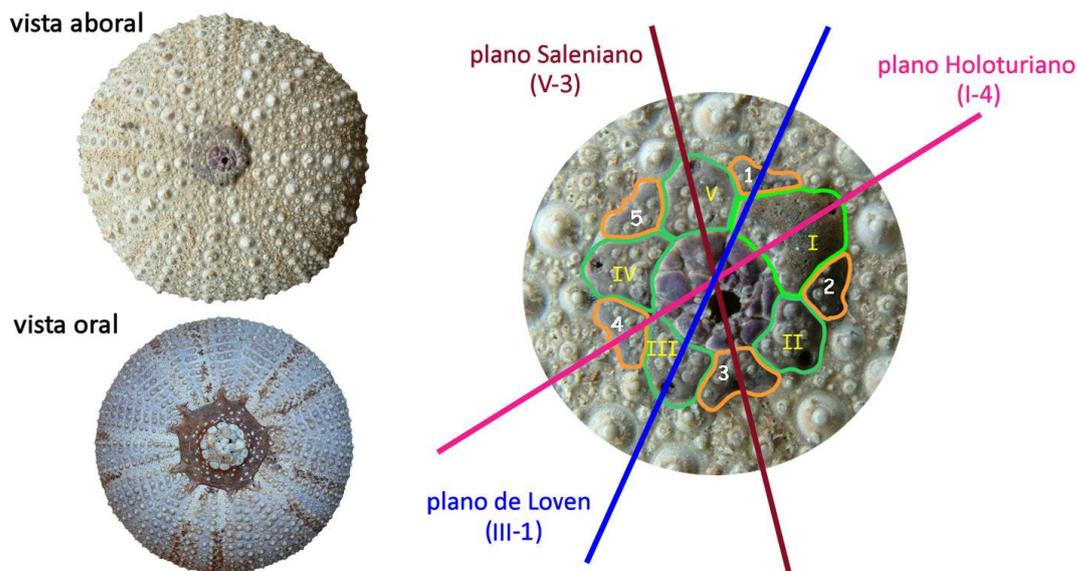


Figura 14. Simetría pentarradiada de un erizo de mar (*Paracentrotus*). Las placas del periprocto (derecha), en particular la placa madreporica (I), marcan las zonas radiales (1-5) y las zonas interradales (I-V).

- La **simetría bilateral** presenta un único plano de simetría o **plano sagital**, el cual divide al animal en dos mitades especulares: **izquierda** y **derecha** (Fig. 15). Los animales bilaterales forman un grupo monofilético (*Bilateria*). Es propia de los animales que se mueven en una dirección determinada.

Además del plano sagital existen una serie de términos necesarios para señalar o localizar las diferentes regiones del cuerpo en los animales bilaterales:

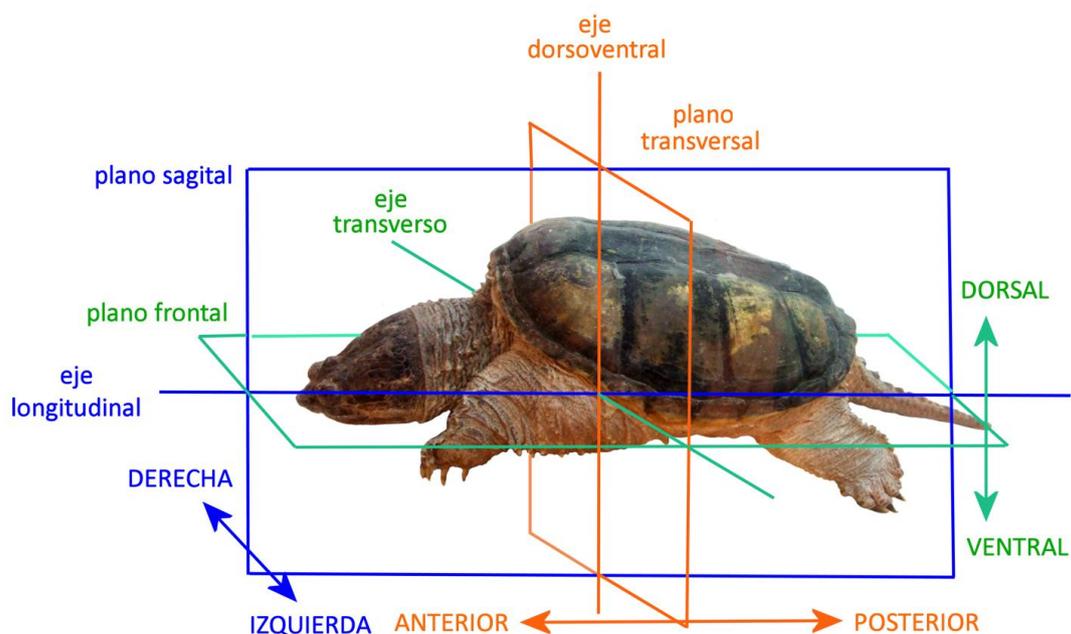


Figura 15. Representación de la simetría bilateral.

Eje longitudinal o **antero-posterior**: es el eje principal heteropolar que va desde el extremo anterior al posterior.

Eje dorsoventral: es un eje heteropolar que va desde un punto de la línea media dorsal o superior del animal a un punto de la línea media ventral o inferior formando un ángulo recto con el eje longitudinal.

Eje transverso: es un eje homopolar que va desde un punto del lado derecho del animal a un punto del lado izquierdo formando un ángulo recto con el eje longitudinal.

Plano sagital: divide a un cuerpo bilateral en dos mitades izquierda y derecha y está definido por el eje longitudinal y uno dorsoventral. Forma un ángulo recto con el plano frontal.

Plano frontal o **plano coronal**: divide a un cuerpo bilateral en dos mitades dorsal y ventral. Viene definido por el eje longitudinal y un eje transverso. Forma un ángulo recto con el plano sagital.

Planos transversales: son perpendiculares a los planos frontal y sagital dividiendo el cuerpo de un animal bilateral en parte anterior y parte posterior. Están definidos por un eje dorsoventral y otro transverso que se cruzan con el eje longitudinal formando un ángulo recto.

Planos parasagitales: son todos los planos paralelos posibles al plano sagital.

Planos parafrontales: son todos los planos paralelos posibles al plano frontal.

Anterior: designa el extremo cefálico o craneal de la cabeza.

Posterior: designa el extremo opuesto, caudal o cola.

Dorsal: designa el lado de la espalda o lomo.

Ventral: designa el lado del vientre (o el frente).

Medial: se refiere a la línea media longitudinal del cuerpo.

Lateral: se refiere a los lados o costados, derecho e izquierdo.

Distales: son las partes más alejadas del centro del cuerpo con respecto a otro punto. Por ejemplo la parte final de la cola de un ratón.

Proximales: son las partes más cercanas del centro del cuerpo con respecto a otro punto. Por ejemplo la parte basal de la cola de un ratón.

Pectoral: designa la región del pecho o la soportada por las extremidades anteriores en los vertebrados. En peces aletas pares anteriores.

Pélvico: designa la región de las caderas o el área sobre las extremidades posteriores. En peces, aletas pares posteriores.

En el laboratorio se deberán identificar los planos y ejes de simetría en varios animales bilaterales (Fig. 16). Utilizar plastilina para realizar los cortes que marcan los planos.

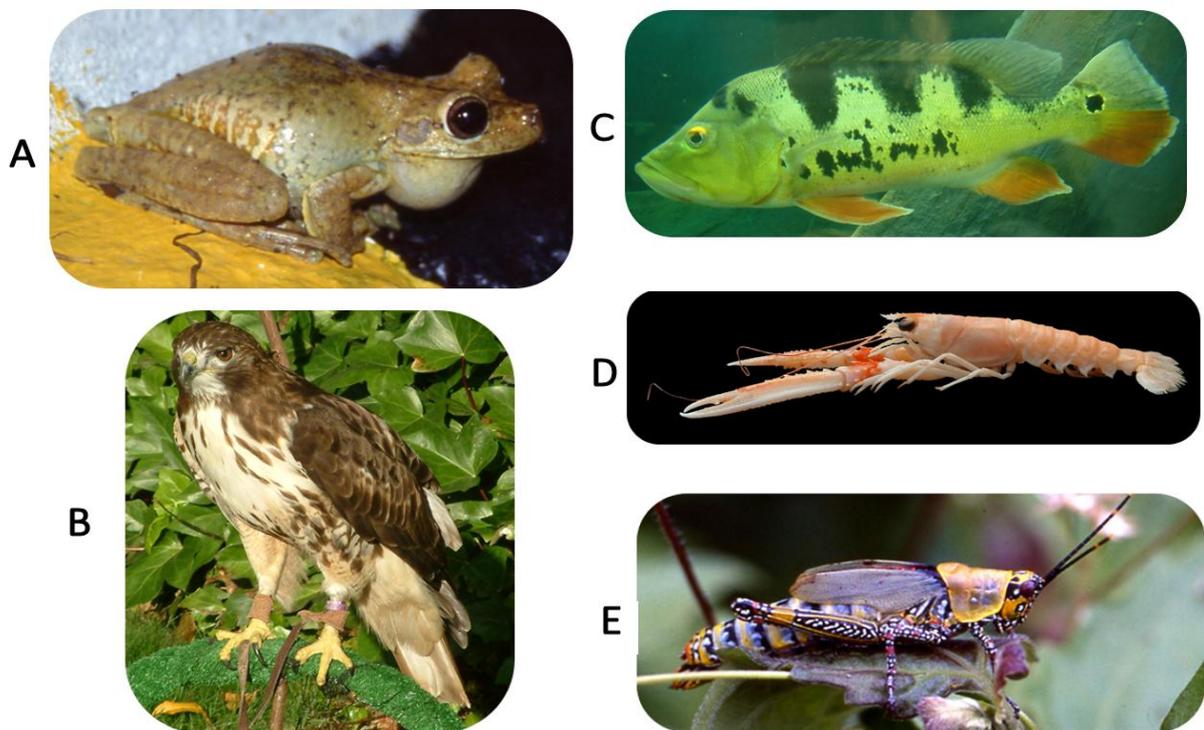


Figura 16. Fotografías de animales con simetría bilateral. A. Anfibio. B. Ave. C. Osteíctio. D. Crustáceo. E. Insecto.

- Algunos equinodermos que realizan lentos desplazamientos modifican su simetría radial secundaria en una **simetría bilateral terciaria**, que es más ventajosa para este tipo de vida que la radial (fig. 17). Esta simetría está definida en los equinoideos irregulares por el **plano de Loven** y en las holoturias por el **plano holoturoideo**.

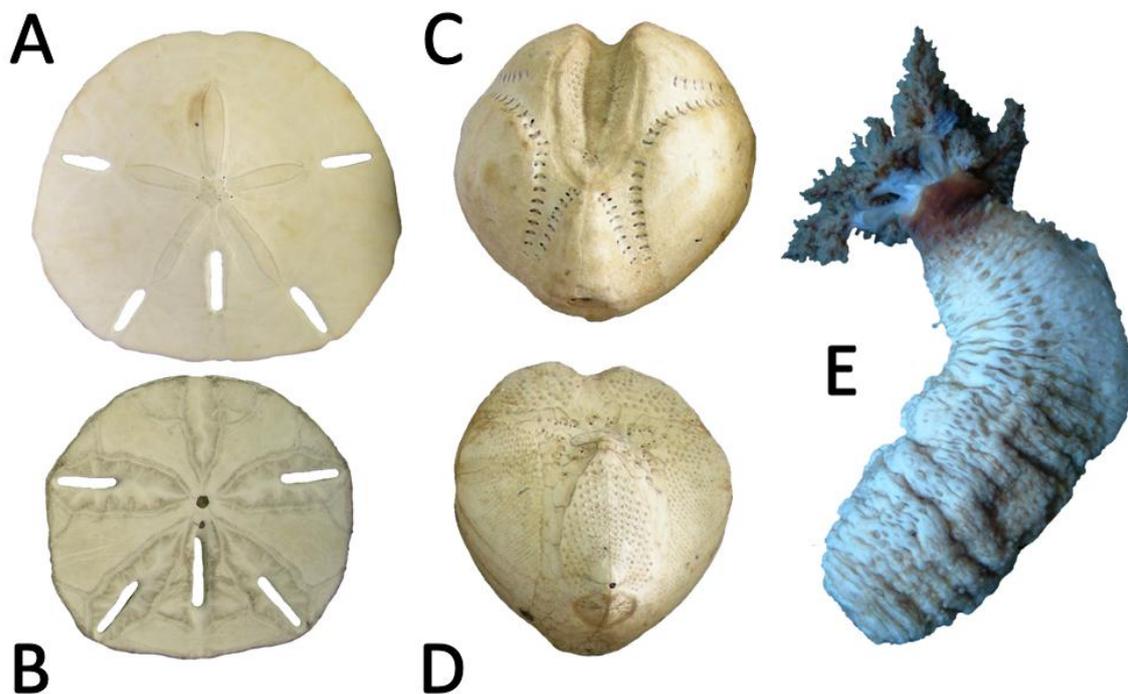


Figura 17. Equinoideos irregulares: *Mellita*. A. vista aboral. B. vista oral. *Equinocardium*. C. vista aboral. D. vista oral. Holuroideo: E. *Cucumaria*.

b) Asimetrías

Además de los tipos de simetría esférica, radiada, birradiada y bilateral, existen diversos tipos de **asimetrías** en las que los órganos no aparecen colocados ordenadamente en torno a un eje o a un plano, sino de una manera aparentemente irregular, pero que responde a un significado funcional.

Hay que buscar el porqué de simetría y asimetría como un mecanismo, condicionado por el ambiente, al servicio del modo de vida del animal. La simetría, y sobre todo las asimetrías, sólo pueden comprenderse después de un análisis minucioso, realizado desde el punto de vista funcional. Quedan excluidas las monstruosidades o **teratologías**, que son producto de malformaciones no heredables, bastante frecuentes en los animales, sobre todo en insectos (esquistomelias p.e.) y vertebrados (bicefalia, polidactilia p.e.).

- **Pecten:** Al contrario de lo que ocurre en la mayoría de los bivalvos, que tienen las valvas derecha e izquierda separadas por el plano sagital, las valvas de *Pecten* no son simétricas respecto a este plano y funcionan como ventral (valva derecha) y dorsal (valva izquierda). En el laboratorio hay que identificar los planos y el eje de simetría (Fig. 18).

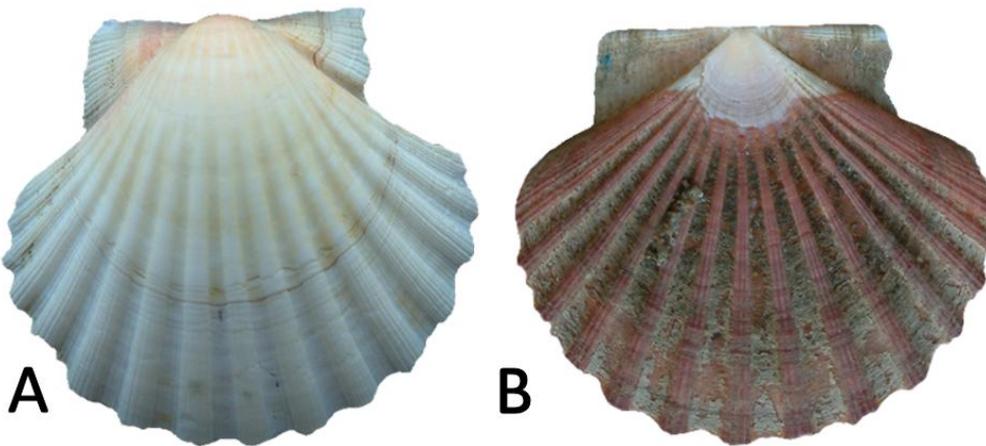


Figura 18. Valvas de Pecten. A. valva derecha. B. valva izquierda.

- **Heteroquelia en crustáceos:** Las quelas de algunos crustáceos presentan diferente desarrollo (Fig. 19).



Figura 19. A. *Uca* (cangrejo violinista). B. *Calappa* (cangrejo real).

- **Pagúridos:** La simetría del pleón (abdomen) de los cangrejos ermitaños se modifica para adaptarse a la forma de la concha del gasterópodo en la que se introduce (Fig. 20).

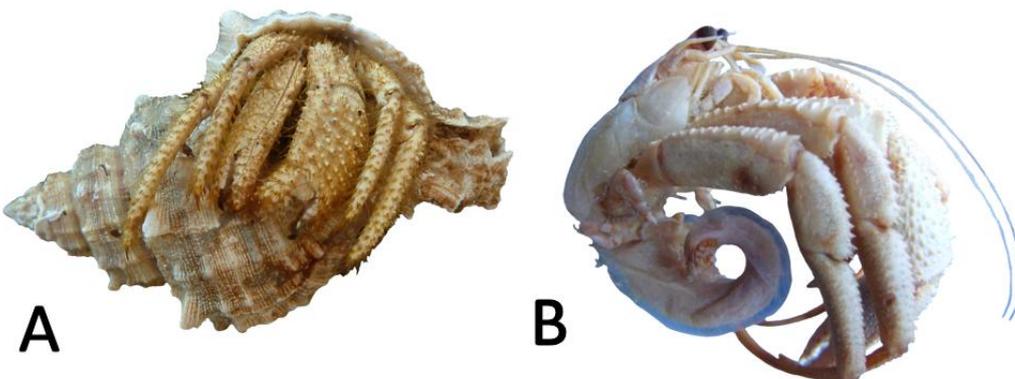


Figura 20. Cangrejo ermitaño. A. en el interior de la concha del gasterópodo. B. fuera de la concha.

- **Charnela de bivalvos:** En estos moluscos se puede observar la pérdida de simetría en las estructuras de cierre de las valvas (**charnela**): dientes y fosetas (Fig. 21).

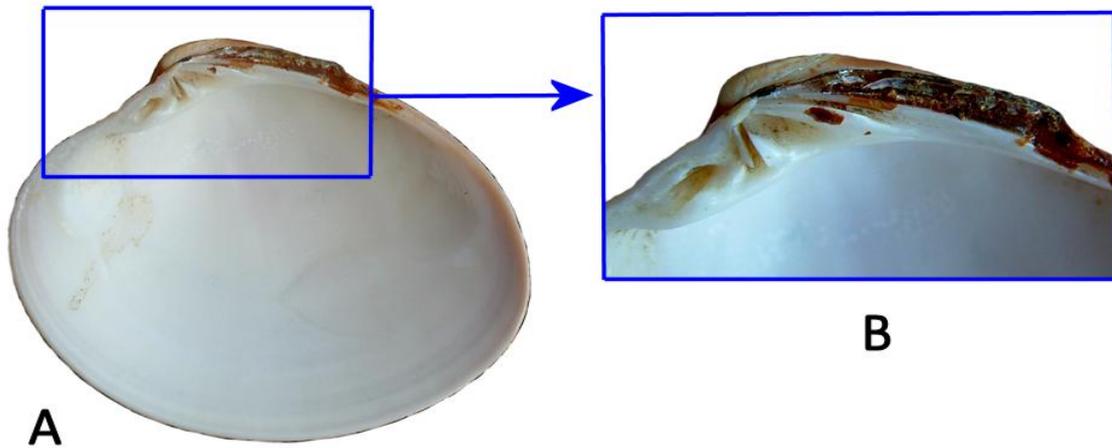


Figura 21. Valva de pelecípodo (*Callista*). A. Vista interna de la valva derecha. B. Detalle de la charnela.

- **Peces bentónicos pleuronectiformes:** La modificación asimétrica en este caso se produce por su adaptación al medio bentónico. Al tumbarse sobre uno de sus laterales, los ojos y las aletas del lado sobre el que se tumban migran al lado opuesto (Fig. 22).

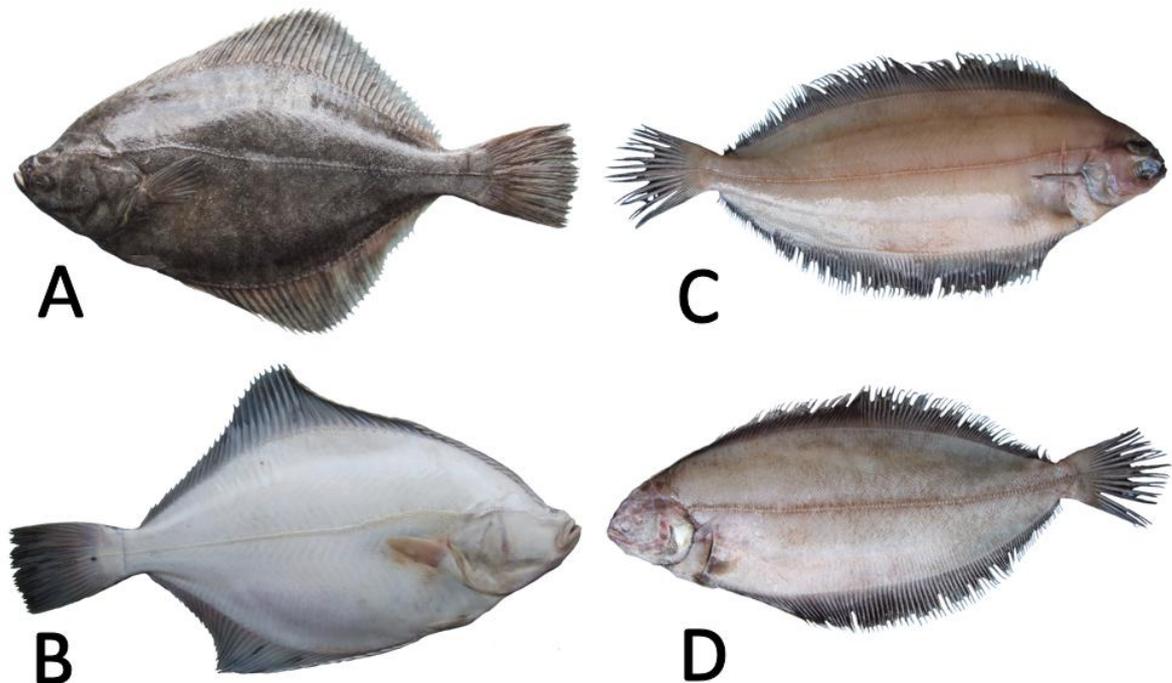


Figura 22. Platija: A. vista lateral izquierda. B. Vista lateral derecha. Lengudina: C. Vista lateral derecha. D. Vista lateral izquierda.

- **Asimetría en gasterópodos:** se produce por la flexión, la torsión y el arrollamiento de la masa visceral (Fig. 23).

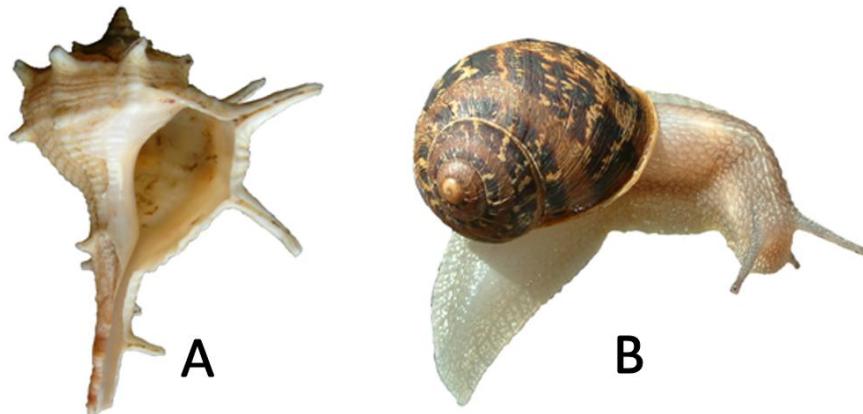


Figura 23. Ejemplos de la asimetría de los gasterópodos. A. Concha de *Murex* (vista ventral). B. *Helix*.

- **Asimetría en el pico de algunas aves:** está producida por la adaptación a tipos de alimentación (Fig. 24).

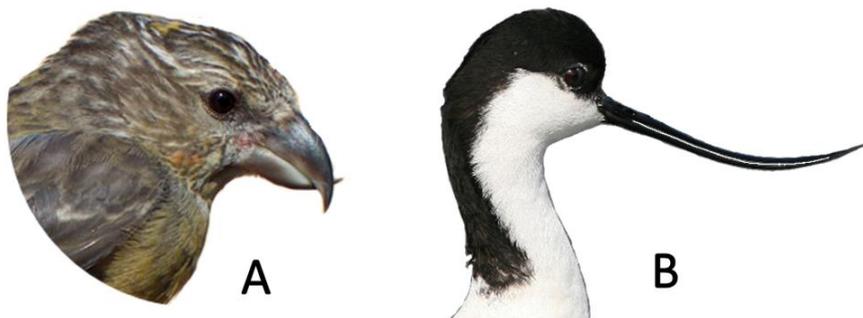


Figura 24. Tipos asimétricos de aves. A. Piquituerto. B. Avoceta.

- **Clinosimetría:** La presentan algunas colonias de cnidarios hidrozoos sifonóforos (Fig. 25).

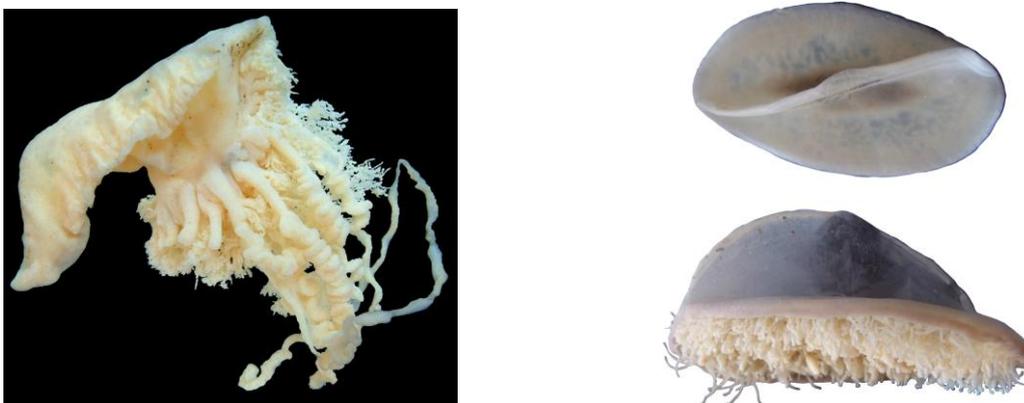


Figura 25. Colonias de *Physallia* (izquierda) y *Velella* (derecha).

- **Cornamentas:** Las cuernas de algunos artiodáctilos son asimétricas (Fig. 26).

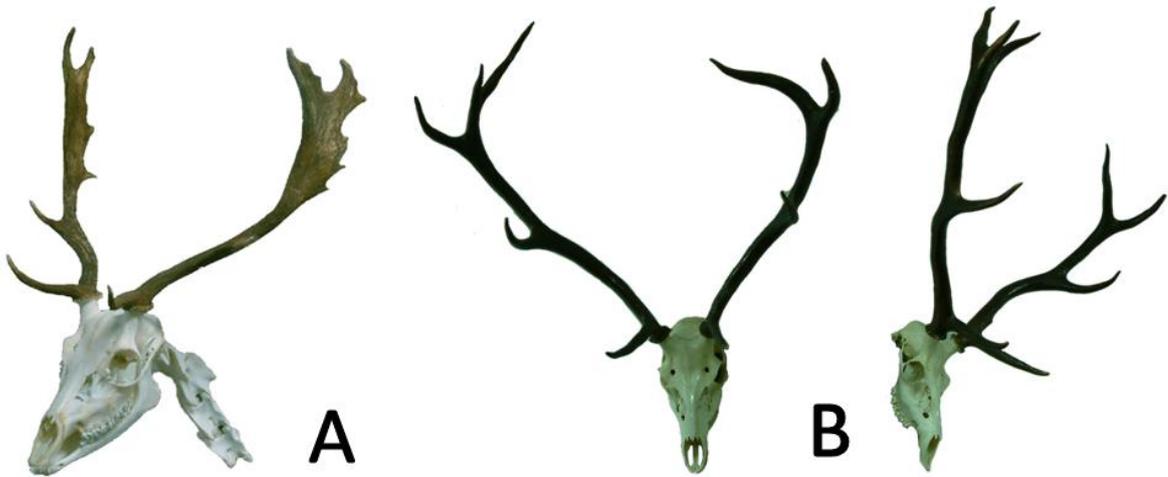


Figura 26. Cornamentas. A. Gamo. B. Ciervo.

BIBLIOGRAFÍA

Hickman, C.P., Roberts, L.S., Keen, S.L., Larson, A.; L'Anson, H. y Eisenhour, D.J. 2009. *Principios Integrales de Zoología*. 14ª edición. McGraw-Hill. Interamericana. 917 PP.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Alvarado, R. 1983. Zoología. Suplemento Anual del Diccionario Enciclopédico Espasa Calpe. 1981-1982. 50:1153-1208. 50. Enciclopedia Espasa Calpe.

Hargittai, I. y Hargittai, M. 1994. *Symmetry: A unifying concept*. Shelter Publications, Inc. 222 pp.

Kardong, K. 2007. *Vertebrados. Anatomía Comparada, función, evolución*. 2ª edición. Edit.: McGraw-Hill-Interamericana. 800 pp.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Página web con recursos en Zoología.

<http://www.ucm.es/info/tropico>