

## Modelos adaptativos en Zoología (Manual de prácticas)

### 3. Materiales

**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](mailto:zaballos@bio.ucm.es) [agmoreno@bio.ucm.es](mailto:agmoreno@bio.ucm.es)

**Resumen:** Se describen las características y propiedades de los materiales estructurales zoológicos más importantes. Se establecen los protocolos para que el alumno se familiarice con ellos y determine sus características.

**Palabras clave:** Materiales zoológicos. Mucus. Quitina. Conquiolina. Abductina. Colágeno. Gorgonina. Queratina. Huesos. Carbonato cálcico.

#### MATERIALES

Los materiales de origen animal son los responsables del éxito o fracaso biológico, ya que los productos confieren a sus productores una serie de características (en la mayoría de los casos adaptativas) conforme a sus propiedades. El éxito de los artrópodos se debe a las extraordinarias propiedades de su cutícula, como el de los nematodos se lo deben a la suya; y si existe algo sobre lo que trabaje primaria y directamente la selección natural es sobre estos materiales biológicos. Hay materiales **generalistas** como el **colágeno** (esponjas, cnidarios, anélidos, moluscos, vertebrados, etc.) o la **quitina** (cnidarios, anélidos, artrópodos, briozoos, etc.); y otros **exclusivos** de un grupo concreto como los cauchos proteicos: **resilina** (insectos) o **abductina** (bivalvos).

Los materiales zoológicos están sujetos a continua regeneración y desgaste, crecimiento y envejecimiento. Algunas de sus propiedades se fortalecen a lo largo de la vida del animal, otras se deterioran y otras permanecen inalteradas durante toda su vida.

Los límites corporales de tamaño en los animales, desde el punto de vista físico, vienen determinados, entre otras causas, por dos factores:

- Las **propiedades** de los materiales de que están compuestos (especialmente sus componentes esqueléticos). Los materiales de construcción, dentro de un determinado grupo zoológico, son siempre los mismos y su grado de resistencia no puede ser superado por simples variaciones estructurales.



Figura 1. Algunos de los materiales utilizados en la práctica para valorar sus propiedades (ver Tabla I).

- La **estructura**, **disposición** y **combinación** de dichos materiales confiere a los animales propiedades extraordinarias formando cutículas, huesos, conchas, tendones, membranas, etc.

En la mayoría de los casos los materiales se encuentran combinados según los requerimientos funcionales de las estructuras de las que forman parte. Un único material, como el **colágeno**, con unas propiedades determinadas en estado puro, combinándose en diferentes proporciones con otros materiales ofrece un inmenso abanico de posibilidades muy variadas que los animales han sabido aprovechar.

En la práctica vamos a comprobar algunas de las propiedades de los materiales estructurales zoológicos. Salvo con el moco, se comprueban propiedades de sólidos sobre estructuras animales (productos terminados). Recordar que en estado natural, generalmente, estas estructuras están hidratadas, por lo que se recomienda realizar el estudio con material previamente hidratado.

### **Mucus o moco**

El **moco** es una secreción protectora o lubricante, común a casi todos los animales, fabricada por células o glándulas tegumentarias en los animales acuáticos o por epitelios, en general, en los animales terrestres. El moco está formado básicamente de **mucopolisacáridos** (especialmente **mucina**, formada por hidratos de carbono y proteínas) producidos por células o glándulas tegumentarias de forma diversa en los diferentes grupos, desde sencillas células glandulares, en el caso de los cnidarios, platelmintos, moluscos (con células especiales o **mucocitos**), anélidos o peces, a glándulas multicelulares como en el caso de los peces y anfibios. Un caso especial lo presentan las planarias de agua dulce, en la que unas células especiales producen unos bastoncillos aciculares, los **rabbitos**, que en contacto con el agua se hinchan y forman una funda mucosa alrededor del cuerpo.

**Comprobar las propiedades:** viscosidad, solubilidad, textura, lubricación, peso, resistencia, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en caracol de huerta *Helix*).

### **Quitina**

La **quitina** es un polímero de la **acetil-glucosamina**, es un material sólido, fibroso, tenaz y flexible; incoloro, amorfo e insoluble en agua, alcohol, éter, ácidos diluidos y álcalis; no se disuelve al calor y se dispone en largas fibrillas visibles al microscopio electrónico; y con rayos X muestra una textura parecida a la de la celulosa.

Presente en el perisarco de las colonias de hidrozooos, formando también las teclas de los hidrantes, en la cutícula de los anélidos y sobre todo en los artrópodos y par artrópodos. También en los zoocitos de Briozoos.

En el caso particular de los artrópodos, la quitina sufre el denominado proceso de **esclerotización**, tiene lugar solo en la exocutícula, y consiste en que la **esclerotina** (es una

proteína) se tanifica o curte por la acción de fenoles vertidos por los porocanales y se establecen unos puentes fenólicos quedando la quitina embebida en estas empalizadas de proteína. El resultado es la cutícula de los artrópodos, uno de los materiales más resistentes que sintetizan los animales; es muy resistente a la presión, al desgarre, a la tracción, soporta la cocción en sustancias alcalinas concentradas, al tiempo que es ligera, con una densidad de sólo 1,3 veces el peso del agua.

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en langostino).

### Conquiolina

Los moluscos fabrican un material de aspecto córneo con propiedades similares a la quitina, está formado básicamente por una sustancia denominada **conquiolina** o **conchina**, la cual es de naturaleza proteica y está curtida con **quinonas**. Con este material forman los opérculos flexibles de los gasterópodos y la capa más externa de la concha, que se denomina **periostraco**. Esta capa exterior es de vital importancia en los caracoles pulmonados terrestres dulceacuícolas, cuya concha posee menos carbonato cálcico y un periostraco córneo más grueso resistente a los ácidos húmicos.

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en opérculos de caracoles *Murex* y/o *Littorina*) (comprobar ataque ácido en concha de caracol de huerta *Helix*).

### Abductina

La **abductina** es un “caucho proteico” que se encuentra en el ligamento (interno, externo) de la charnela de los moluscos bivalvos. El cierre de las valvas está asegurado por los músculos aductores (monomíarios o dimíarios), que pueden cerrarla violentamente, pero la apertura de las valvas lo realiza el ligamento de abductina, que es comprimido cuando se cierra la concha, lo que proporciona la fuerza necesaria para abrir la concha cuando el músculo aductor se relaja. Los bivalvos son animales sedentarios, por lo que la velocidad de apertura de las valvas no es importante. En el caso de los Pectínidos la eficiencia del elemento elástico es muy importante, ya que nadan por aducciones rápidas de la concha (se propulsan a chorro por el agua expelida durante el cierre de las valvas, que se abren y cierran unas tres veces por segundo).

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en valvas de mejillón *Mytilus* y vieira o concha de Santiago *Pecten*).

## Colágeno

El **colágeno** es una proteína fibrosa relativamente insoluble en agua, es la fibra estructural básica del reino animal, se encuentra en todas las líneas filogenéticas animales. Es la proteína más abundante en los vertebrados (forma parte de huesos, piel, tendones y cartílagos). Generalmente aparece como componente de un tejido conectivo complejo y flexible, pero también en estructuras tractibles como los tendones, donde se presenta como fibras de colágeno casi puro dispuestas paralelamente. Salvo en los artrópodos, los tejidos con colágeno constituyen la mayoría de los elementos estructurales pasivos (cartílago, tendón y hueso).

La molécula contiene por lo general tres **cadena polipeptídicas** muy largas, cada una formada por unos 1.000 aminoácidos, trenzadas en una triple hélice (unidad macromolecular denominada **tropocolágeno**) siguiendo una secuencia regular que confiere a los tendones y a la piel su elevada resistencia a la tensión. Cuando las largas fibrillas de colágeno se desnaturalizan por calor, las cadenas se acortan y se convierten en gelatina (carne y pescados cocinados).

Sus extraordinarias propiedades son las responsables de su elevada presencia y variadas funciones en el reino animal: fibras de esponjina de las esponjas, mesoglea de los cnidarios, cutícula de Nematodos, y en vertebrados forma parte de cartílagos, matriz ósea de los huesos, paredes de los vasos sanguíneos, piel y tendones.

El colágeno forma también los **filamentos del biso** de los mejillones. Tiene la suficiente tenacidad para resistir fuerzas hidrodinámicas extremas (recordar que los mejillones al natural están expuestos a la acción del oleaje extremo). La baja extensibilidad del colágeno parece inapropiada para este sistema de fijación; no obstante, en los filamentos del biso se distinguen dos zonas, una proximal y otra distal con comportamientos mecánicos muy diferentes. La proximal es muy extensible con bajas tensiones (distribuye la carga entre los filamentos), mientras la distal tiene una baja extensibilidad (sus filamentos son 2-4 veces más largos y la mitad de gruesos que los proximales).

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en cutícula de *Ascaris*) (comprobar en *Mytilus* que las zona proximal y distal de los filamentos del biso responden de manera diferente a la tensión).

## Gorgonina

Es un material orgánico flexible de color marrón oscuro que es el principal constituyente del esqueleto axial de los corales blandos de los octocorales Gorgoniáceos. En la gorgonina hay colágeno pobremente alineado con un alto contenido en yodo ausente en otros colágenos. La gorgonina se deposita extracelularmente en capas concéntricas alrededor de un canal hueco central de unas 100  $\mu\text{m}$  de diámetro. La gorgonina es flexible y permite que ejes de menos de 5 mm de diámetro puedan

anudarse sin romperse. La resistencia a la tracción y el módulo elástico son los de un polímero orientado con elevado grado de entrecruzamiento. Los ejes gruesos son rígidos. El material deshidratado también.

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (comprobar en *Gorgonia*).

## Queratina

La estructura básica del tegumento de los vertebrados consta de una fina capa de células epiteliales, externa y estratificada, la **epidermis**, que deriva del ectodermo, y otra capa más interna y gruesa, la **dermis**, la verdadera piel, que es de origen mesodérmico.

La epidermis es un epitelio escamoso estratificado, que normalmente está formado por varias capas de células. La parte basal está formada por células que sufren divisiones mitóticas frecuentes para renovar las capas que se encuentran por encima de ellas. A medida que las capas más externas de células son desplazadas hacia el exterior por las nuevas generaciones de células más internas, en el interior de ellas se va acumulando una proteína fibrosa increíblemente resistente, la **queratina**. Gradualmente, la queratina va reemplazando todo el citoplasma metabólicamente activo de estas células, que entonces mueren y son mudadas, como si se tratase de escamas (la caspa y el polvo de las casas). Este proceso se denomina **queratinización**, y las células así transformadas se dice que están **cornificadas**. Las células cornificadas, que son muy resistentes a la abrasión y a la difusión de agua, constituyen el denominado **estrato córneo**. Esta capa de la epidermis es especialmente gruesa en las zonas sometidas a más presiones o desgaste continuo, tales como callosidades, almohadillas plantares de los mamíferos y las escamas de los reptiles y aves. No confundir las faneras de los vertebrados con formaciones óseas asociadas: cuernos, picos, caparazones de tortugas; o las cornamentas de los cérvidos (huesos de crecimiento rápido postnatal).

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en diversas especializaciones y faneras de vertebrados: pelos, escamas (ave o reptil), plumas, cuernos, uñas, cascos, cuernas, pezuñas).



Figura 2. Estructuras epidérmicas de queratina (faneras): pelos, plumas, escamas, garras, púas y cuernos. La queratina es un producto muy versátil, con ella, las aves fabrican ligeras y delicadas plumas y los mamíferos pesados y duros cuernos (en la figura cuernos con eje óseo de toro de lidia y cabra doméstica, y cuerno de rinoceronte macizo de queratina trenzada).

## Huesos

El hueso es un tejido vivo que se diferencia de los demás tejidos conjuntivos y de soporte por el hecho de presentar importantes depósitos de sales de calcio inorgánico, que se acumulan sobre una matriz extracelular. Su organización estructural es tal, que el hueso tiene casi la misma resistencia a la tensión que el hierro, pero solo pesa un tercio de éste.

La mayoría de los huesos se desarrollan a partir del cartílago, y se denominan **huesos endocondrales** (el cartílago embrionario se desgasta gradualmente, dando lugar a unos grandes huecos; entonces, las células formadoras de hueso invaden estas áreas y comienzan a depositar sales de calcio alrededor de los bordes, donde aún quedan restos de cartílago).

El **hueso dérmico** es un tipo de hueso de membrana (se desarrolla directamente a partir de láminas de células embrionarias). Forman las escamas en los peces, la "armadura" de los cocodrilos, la concha de las tortugas y, en los tetrápodos, estos huesos de membrana están restringidos a la cara, el cráneo, las clavículas, las cornamentas y los ejes óseos de los cuernos, picos y garras. El resto del esqueleto está formado por huesos endocondrales.

El hueso está formado por una mezcla química de sales inorgánicas (65 a 70%), varias sustancias orgánicas (30 a 35%), principalmente colágeno (un tercio del peso seco) y una cierta cantidad de agua. El hueso está dotado de dureza y elasticidad. Su dureza procede de sus componentes inorgánicos, siendo los principales el fosfato de calcio (hidroxiapatito) y el carbonato de calcio, junto a pequeñas cantidades de fluoruros, sulfatos y cloruros. Su elasticidad deriva de sustancias orgánicas como colágeno y pequeñas cantidades de elastina, material celular y grasas. La rigidez del hueso depende de su grado de mineralización, a mayor mineralización el hueso es más rígido y más resistente, pero también más frágil. Las propiedades del hueso deben valorarse con material hidratado, que es su condición natural.

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (ver en huesos, largos, cortos, esponjosos, planos, etc) (ver en escamas de peces).



Figura 3. Diferentes tipos de hueso para valorar sus propiedades. A la izquierda, hidratándose, cartílago de los discos intervertebrales de cabra doméstica.

### Carbonato cálcico

El carbonato cálcico está presente en los endoesqueletos de grupos animales muy diferentes (esponjas, cnidarios, vertebrados, etc), pero también en estructuras (exoesqueletos) de origen tegumentario como son cutículas de algunos crustáceos y algunos miriápodos y, sobre todo, las conchas de moluscos.

La **concha** de los **moluscos** puede llegar a representar el 70 % del peso del animal. El componente principal de una concha es el **carbonato cálcico** ( $\text{CaCO}_3$ ), material muy sensible a los ácidos, con los que reacciona químicamente disolviéndose.

La capa más externa de la concha (periostraco) es de conquiolina (ver p.34), debajo hay carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) cristalizado en sistemas diferentes, hexagonal (calcita) y rómbico (aragonito o también nácar). El  $\text{CaCO}_3$  llega al individuo como fosfato cálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) que absorbe del agua circundante, del suelo o del alimento. El paso de fosfato a carbonato se hace a nivel de unas glándulas de la concha. Las células del manto precipitan el  $\text{CaCO}_3$  de la sangre para hacer crecer la concha.

La capa más interna recibe el nombre de capa nacarada, de naturaleza carbonatada, su constitución es de numerosas capas de aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ), onduladas y

finas, paralelas a la superficie del manto, en esta capa se dan las hermosas irisaciones nacaradas que observamos en numerosas conchas. Algunos moluscos producen perlas<sup>1</sup>.

La coloración de la concha se debe a pigmentos presentes en el periostraco o en las capas más internas. El material orgánico puede llegar a componer el 33% del peso seco de la concha.

La cutícula de muchos crustáceos (sobre todo los crustáceos superiores de gran tamaño) y de algunos miriápodos está calcificada. Es decir sufren un proceso por el que se deposita o incrusta CaCO<sub>3</sub> entre las capas de quitina esclerotizada.

En algunos casos se encuentra en forma de calcita (más ligera), como en los equinodermos (placas y púas) o en las placas de los cirrópodos (percebes y balanos).

El endoesqueleto de las esponjas está formado por espículas calcáreas o silíceas. Una gota de HCl nos indica la naturaleza calcárea de las espículas produciendo efervescencia.

**Comprobar las propiedades:** dureza, fragilidad, tenacidad, presión, desgarre, flexibilidad, elasticidad, plasticidad, peso, resistencia, desgaste, color, olor, ataque ácidos, etc (comprobar en una esponja si las espículas son calcáreas o silíceas) (ver en corales: *Cladocora*) (ver en conchas de moluscos marinos: *Callista*, *Mytilus*, *Murex*, *Littorina*) (ver quelas de crustáceos marinos: buey de mar *Cancer* y bogavante *Homarus*) (ver placas y púas de erizos de mar *Paracentrotus*) (ver placas de percebes *Pollicipes*).

## BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Hickman, C.; Roberts, L.; Keen, S.; L'Anson, H. y Larson, A. 2009. *Principios integrales en Zoología*. Decimocuarta edición. Mcgraw-Hill Interamericana. Madrid.

Kardong, K. 2007. *Vertebrados: Anatomía comparada, función, evolución*. Mcgraw-Hill Interamericana. Madrid.

Thompson, D. W. 1980. *Sobre el crecimiento y la forma*. Blume. Madrid.

Vogel, S. 2003. *Comparative Biomechanics*. Princeton University Press. Princeton.

Wainwright, S. A.; Biggs, W. D.; Currey, J.D. y Gosline, J. H. 1980. *Diseño mecánico en organismos*. Blume. Madrid.

---

<sup>1</sup> **Propiedades físicas de las perlas:** Composición química: 82-86% carbonato cálcico (aragonito) + 10-14 % conquiolina + 2-4% agua. Peso específico: 2,60-2,78. Color: blanco, crema, dorado, negro, gris, rosa. Otros: sensible a los ácidos, cosméticos e incluso al sudor.

## RECURSOS ELECTRÓNICOS

Museo de Anatomía Comparada de Vertebrados (MACV). Facultad de Cc. Biológicas.  
UCM. Madrid, España.

<http://www.ucm.es/centros/webs/fbio/index.php?tp=Museo%20de%20Anatomía%20Comparada%20de%20Vertebrados&a=servicios&d=2073.php>

Zoología. Interpretación de los modelos arquitectónicos. U.C.M.

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

<http://www.cueronet.com/tecnica/colageno.htm>

|   | Dureza | Fragilidad | Tenacidad | Elasticidad | Plasticidad | Desgarre | Peso | Desgaste | color | olor | CIH | NaOH | otros |
|---|--------|------------|-----------|-------------|-------------|----------|------|----------|-------|------|-----|------|-------|
| Quitina<br>Langostino                     |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Conquiolina<br>Opérculos ( <i>Murex</i> ) |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Conquiolina<br><i>Helix</i>               |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Abductina<br><i>Mytilus</i>               |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Colágeno<br>Biso ( <i>Mytilus</i> )       |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Gorgonina<br><i>Gorgonia</i>              |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Colágeno<br>Cutícula ( <i>Ascaris</i> )   |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Colágeno<br>Tendones (pavo)               |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Queratina<br>Pelo                         |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Queratina<br>Plumas                       |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Queratina<br>Escamas (reptil/ ave)        |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Queratina<br>Pezuñas                      |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Queratina<br>Cuernos                      |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Huesos<br>largos                          |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |
| Huesos<br>cortos                          |        |            |           |             |             |          |      |          |       |      |     |      |       |

|   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Huesos planos                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Escamas Carpa                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br><i>Callista</i>      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br>Coral                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br>Concha Sepia         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br><i>Cancer</i>        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br><i>Paracentrotus</i> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CaCO <sub>3</sub><br><i>Pollicipes</i>    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 1. Valorar de 0 a 10 las propiedades de los materiales indicados. Dureza: resistencia a ser rayado. Fragilidad: rotura al deformarlo. Tenacidad: propiedad contraria a fragilidad (resistencia a un golpe, p.e.). Elasticidad: capacidad de recuperar su forma después de deformarlo. Plasticidad: mantiene la forma cuando cesa la causa de la deformación. Desgarre: resistencia a las fuerzas de cizalla. Ataque ácido: positivo o negativo al HCl. Ataque básico: positivo o negativo al NaOH.**

Recibido: 1 febrero 2009.  
Aceptado: 18 marzo 2009.