

## **Tema 43. Órganos y funciones de nutrición en los vertebrados**

1º E.S.O. Bloque III. Tema 7

1º Bachillerato. Bloque 8. Los procesos de nutrición en invertebrados y vertebrados.

### **43.1. Concepto de nutrición**

### **43.2. Aparato digestivo.**

#### **43.2.1. Aparato digestivo peces**

#### **43.2.2. Aparato digestivo anfibios**

#### **43.2.3. Aparatos digestivo Reptiles**

#### **43.2.4. Aparatos digestivo de aves**

#### **43.2.5. Aparato digestivo Mamíferos**

### **43.3. Aparato respiratorio.**

#### **43.3.1. Aparato respiratorio de los peces**

#### **43.3.2. Aparato respiratorio de los Anfibios**

#### **43.3.3. Aparato respiratorio de Reptiles**

#### **43.3.4. Aparato respiratorio de Aves**

#### **43.3.5. Aparato respiratorio de Mamíferos**

### **43.4. Aparato circulatorio.**

#### **43.4.1. Sistema circulatorio de los Peces**

#### **43.4.2. Aparato circulatorio de los Anfibios**

#### **43.4.3. Aparato circulatorio de Reptiles**

#### **43.4.4. Aparato circulatorio de aves**

#### **43.4.5. Aparato circulatorio de mamíferos**

### **43.5. Aparato excretor**

#### **43.5.1. Aparato excretor de los peces**

#### **43.5.2. Aparato excretor de los Anfibios**

#### **43.5.3. Aparato excretor de Reptiles**

#### **43.5.4. Aparato excretor de aves**

#### **43.5.5. Aparato excretor de Mamíferos.**

### **43.6. Homeostasis y Homeotermia**

## 43.1. Concepto de nutrición

Todos los seres vivos necesitan el aporte constante de materia, tanto orgánica como inorgánica, para disponer de energía y para reponer sus continuos desgastes de materia. Se entiende por nutrición el conjunto de procesos por los cuales los seres vivos incorporan sustancias del medio que los rodea y la transforman en su propia materia viva.

Los vertebrados, al ser heterótrofos, tienen que incorporar moléculas orgánicas ya elaboradas por otros seres vivos de los que dependen. Esta nutrición es holozoica; es decir se alimentan de materia orgánica sólida, que deben ingerir, digerir y absorber. La materia orgánica puede ser de origen vegetal (**herbívoros**), de origen animal (**carnívoros**) o proceder indistintamente de animales y vegetales (**omnívoros**). Los animales, además necesitan incorporar sustancias inorgánicas, como agua, las sales minerales y el oxígeno. Las sustancias orgánicas precisan de un sistema de digestión y de absorción (**aparato digestivo**); el oxígeno debe incorporarse a través del **aparato respiratorio**. Tanto las sustancias orgánicas como las inorgánicas llegan a las células a través de un sistema de transporte (**aparato circulatorio**); una vez en ellas sufren procesos de transformación (**metabolismo**) que generan materiales de desecho que deben ser expulsados del cuerpo mediante un **sistema excretor**, utilizando de nuevo como vehículo de transporte el torrente sanguíneo.

Por todo ello el estudio comparado de las funciones de nutrición en los vertebrados supone, a su vez, el estudio comparado de los aparatos digestivo, circulatorio, respiratorio y excretor.

## 43.2. Aparato digestivo.

La tendencia evolutiva del aparato digestivo de los vertebrados, con respecto a la de los invertebrados, queda patente por:

- La digestión intracelular da paso a la extracelular.
- La **regionalización del aparato digestivo** es máxima: la parte anterior (boca, esófago y estómago), se especializa en **procesos mecánicos**, la parte media (intestino delgado) en los **procesos químicos** y de absorción, y la parte posterior (intestino grueso) en la concentración de sustancias no digeribles (heces) para su posterior eliminación.
- Existencia de glándulas anejas que liberan gradualmente enzimas a lo largo de todo el tubo (excepto del intestino grueso), lo que facilita una hidrólisis eficaz de casi todas las sustancias.
- Se desarrolla la musculatura lisa del tubo digestivo, que da lugar a la **onda peristáltica** de progresión del bolo alimenticio.
- Aparición de **esfínteres** para controlar la permanencia necesaria del alimento en los distintos órganos.

Está encargado de la digestión y de la absorción de los alimentos. De origen endodérmico, en su mayor parte, está unido a la pared dorsal del cuerpo por el mesenterio. Consta de un tubo con varios ensanchamientos y estrechamientos y de unas glándulas que vierten sus enzimas en aquel. El modelo organizativo del aparato digestivo responde, en líneas generales, al siguiente esquema:

### INTESTINO ANTERIOR

Formado por la boca, la faringe con un "intestino respiratorio" (**Faringotrenia**), un esófago y un estómago, separado del siguiente tramo por una válvula pilórica.

En la **boca**, no siempre rodeada por los labios, se encuentra la lengua camosa y móvil (excepto en Teleosteos), unida al arco mandibular (anfibios) o al hioideo (Mamíferos y Saurios). Las glándulas salivares faltan en los acuáticos.

Los **dientes** pueden ser alveolados (con raíz) o no. Faltan en los Ciclostomos. Son de origen ectomesodérmico la dentina y el esmalte. Los hay de crecimiento continuo (sin raíz) o de crecimiento limitado (poseen raíz). Los dientes se pueden clasificar en distintos tipos: **polifiodontos** (crecimiento continuo) en los Reptiles; **difiodontos** (dos denticiones) como en la mayoría de los Mamíferos, y **monofiodontos** (una sola dentición) como en los mamíferos Insectívoros y Quirópteros.

Es frecuente que haya dientes de distinta forma y función (**Heterodoncia**) como los incisivos, caninos, premolares y molares de los mamíferos. Las aves carecen de dientes.

La **faringe**, sigue a la boca. Comunica con las fosas nasales y con la laringe (terrestres), por lo que es un órgano común entre el aparato digestivo y respiratorio.

El **esófago**, es un tubo que desemboca en el estómago a través de un esfínter (cardias). Sus paredes están compuestas, de dentro afuera por un tejido epitelial monoestratificado, tejido conjuntivo y debajo tejido muscular de fibra lisa. En las aves presenta un ensanchamiento llamado **buche**, donde se acumula el alimento tragado sin masticar. Después del esófago, en la aves, hay una dilatación (estómago succenturiado), donde el alimento se impregna con los enzimas digestivos para pasar a la **molleja**, de gruesas paredes musculares con función trituradora. En los Elasmobranquios podemos destacar, como adaptación, su **válvula espiral**.

El **estómago**, generalmente con forma de saco, comunica con el intestino por otro esfínter (píloro). Aquí tiene lugar la llamada digestión gástrica. En los mamíferos rumiantes posee cuatro cavidades o compartimentos: la panza (de enorme capacidad), el bonete o redecilla, el libro o librillo (con tabiques parecidos a las hojas de un libro), y el cuajar o estómago glandular propiamente dicho.

#### INTESTINO MEDIO.

Equivale a nuestro intestino delgado. Está comprendido, por tanto, entre dos esfínteres (píloro y válvula ileocecal). Aquí se continúa la digestión y tiene lugar también la absorción de los productos digeridos. Su longitud varía según el régimen alimenticio, en los herbívoros suele ser más largo que en los carnívoros. En las aves su intestino está provisto por dos tubos ciegos. En el intestino medio desembocan glándulas como el hígado y el páncreas.

#### INTESTINO TERMINAL.

Equivale a nuestro intestino grueso. Comprende desde la válvula ileocecal al ano o a la cloaca (cuando desemboca junto a uréteres y gonoductos), según los casos. Su función primordial es la reabsorción de agua.

Entre las glándulas digestivas merecen señalarse, además de las salivares, hígado y páncreas, las glándulas intestinales y las gástricas.

### 43.2.1. Aparato digestivo peces

La boca puede ser terminal y transversa en los Teleostomos o ventral y transversa en los Elasmobranquios. En estos, los dientes tienen una estructura semejante a la de las escamas placoides. Están situados alrededor de la boca, y su producción es continua, es decir, a medida que se van gastando van siendo sustituidos por otros. En los Actinostegios los dientes se sueldan a algunos huesos; en muchos Teleostomos existen dientes sobre los arcos branquiales (dientes faríngeos). La lengua de los Teleostomos es pequeña e inmóvil.

El esófago va seguido de un estómago glandular (Pepsina), aunque puede faltar en algunos teleostomos. En muchas especies el intestino posee ciegos pilóricos. En el intestino medio aparece, excepto en Teleostomos, un repliegue interno (**válvula espiral**). Su voluminoso hígado contiene gran cantidad de vitamina D. El páncreas puede ser difuso o compacto.

Los embriones, en su intestino interior, forman un divertículo dorsal que, en los adultos, formará la **vejiga natatoria**. Es una especie de bolsa membranosa, a veces tabicada interiormente, que está llena de oxígeno mezclado con una pequeña cantidad de nitrógeno. La comunicación o no de esta vejiga natatoria con el tubo digestivo tiene interés sistemático: Los **fisostomos**, mantienen la comunicación, los **fisoclistos**, no. Los Elasmobranquios y en algunos Teleostomos, falta la vejiga natatoria. Su misión es mantener el equilibrio entre la presión exterior del agua y la presión interior del animal. En los Dipnoos la pared de la vejiga forma alvéolos y adquiere la estructura de un pulmón.

### 43.2.2. Aparato digestivo anfibios

No presenta demasiadas particularidades con respecto al modelo general de los Vertebrados. En la boca pueden tener dientes, muy pequeños, implantados en los huesos del paladar. Las fosas nasales desembocan en la boca a través de las **coanas**. La lengua, carnosa, se inserta frecuentemente por su parte anterior; es **protáctil** en muchas especies y se utiliza como órgano de captura ya que tiene glándulas que segregan un espeso y abundante mucus. Algunos Anuros carecen de lengua.

El recto desemboca en una ampolla rectal, donde se encuentran gran cantidad de protozoos y de nemátodos.

### 43.2.3. Aparatos digestivo Reptiles

La boca está provista de dientes, salvo en las tortugas, que poseen un pico córneo de origen epidérmico. En las serpientes existen dientes especializados para la inoculación de veneno. A lo largo de la vida del reptil los dientes se reemplazan varias veces. En los cocodrilos las nuevas piezas dentarias van reemplazando, poco a poco, a las antiguas; los dientes nuevos salen a través de los alvéolos de los dientes que aún están en uso.

Las **glándulas venenosas** características de algunos ofidios, siempre en número par, están situadas debajo y detrás de los ojos. Suelen estar asociadas a determinados tipos de dientes, por lo que tienen un cierto interés sistemáticos. Entre los ofidios podemos distinguir **diferentes tipos de dientes**:

- **Aglifos**. Las glándulas venenosas no están en comunicación con dientes especializados. Son pequeñas y desembocan en la boca por un corto canal. A estos ofidios no se les considera venenosos (culebras, boas), el veneno se mezcla con la saliva.
- **Opistoglifos**. Tienen los dientes venenosos en la parte posterior del maxilar superior. Sólo pueden inocular el veneno cuando la presa se encuentra en el interior de la boca. Son poco peligrosas, como la *Malpolon monspesulanus* o culebra de Montpellier.
- **Proteroglifos**. Los dientes venenosos están insertos en la parte anterior de la mandíbula superior. Las glándulas ocupan la región temporal, y el conducto, que desemboca en los dientes, es largo. Ej. Naja, cobra, etc.
- **Solenoglifos**. Tienen los dientes muy desarrollados, implantados en la mandíbula superior. Sufren un reemplazamiento periódico. Las glándulas venenosas son muy grandes. Sus conductos son larguísima y desembocan en la base de los colmillos que son canalículos, y son plegables. Ej. Víboras.

En los proteroglifos y solenoglifos las glándulas venenosas son independientes de las salivares. Tras, la boca y una corta faringe, sigue un largo esófago, que conduce al estómago, con una región fúndica y otra pilórica. El intestino está provisto de un divertículo cecal, desemboca en la cloaca, mediante el recto. El hígado, bilobulado está situado delante del estómago, el páncreas se localiza en la primera asa intestinal.

Casi todos los Reptiles son carnívoros. Los cocodrilos y las serpientes lo son estrictamente y han perfeccionado métodos para ingerir sus alimentos; algunas serpientes, incluso, tienen dietas especiales que incluyen huevos de aves y de peces (serpientes marinas). La mayoría de lagartos son también predadores, alimentándose de insectos, mamíferos, aves y otros reptiles.

Las tortugas terrestres son omnívoras, y la tortuga verde prácticamente sólo come algas. Muy pocas tortugas terrestres o marinas poseen la suficiente agilidad o velocidad para capturar presas que se muevan con rapidez. En consecuencia, la mayoría comen vegetales, o animales lentos (moluscos, gusanos y larvas de insectos). Se aprovechan de toda la comida que tengan cerca; por ejemplo a la tortuga mora.

### 42.2.4. Aparatos digestivo de aves

En la boca, de tamaño variable, además del pico destaca la lengua. Esta varía mucho de unos géneros a otros. Delgada en los passeriformes, gruesa en los periquitos, protáctil en el pájaro carpintero, etc. Poseen glándulas salivares en la bóveda de los pliegues palatinos. La forma y el tamaño del pico, como el tipo de lengua, están relacionados con el régimen alimenticio. La mayoría de las aves, a excepción de las rapaces y

de los papagayos, no pueden agarrar el alimento más que con el pico, ya que sus miembros anteriores están totalmente adaptados al vuelo.

A diferencia de los mamíferos y de los reptiles, las aves no tienen dientes. Sin embargo, algunas han adquirido un elemento parecido (bordes dentados) que utilizan para atrapar y retener los peces. Estos "dientes" están formados por la misma materia córnea que el pico.

La faringe es corta. El esófago, largo y musculoso, presenta en la mayoría de las especies una amplia dilatación (**buche**), en donde se almacena y humedece el alimento. En los pichones son dos bolsas laterales que segregan un jugo caseoso.

El esófago desemboca en un proventrículo o estómago glandular, cuyas paredes, muy ricas en glándulas, segregan jugos digestivos. Sigue una **molleja** muy musculosa, tapizada interiormente por un epitelio queratinizado. Se contrae rítmicamente y, con ayuda de piedras u otras partículas duras, machaca el alimento. Las **egegrópilas**, de algunas especies, son los desechos de pelos, plumas, huesos, etc. que regurgitan muchas aves desde la molleja, su análisis nos permite, entre otros, conocer su régimen alimenticio.

El intestino es más largo en los granívoros y herbívoros que en los frugívoros y carnívoros. En la unión del intestino delgado y grueso se encuentran los ciegos intestinales.

El recto termina en la cloaca, donde también desembocan los conductos genitales y excretorios. Las paredes de la cloaca, en los animales jóvenes, tienen dorsalmente una pequeña evaginación (**bolsa de Fabricio**), que funciona como un órgano linfoide. Se reduce en los adultos.

Poseen un hígado, muy desarrollado, con dos lóbulos, con una vesícula biliar y dos conductos biliares. El páncreas desemboca por tres conductos en el asa anterior del intestino.

Las aves herbívoras y granívoras tienen que triturar la comida para poder digerirla, lo hacen mediante el pico y la molleja. Algunos como el picogordo pueden triturar con más fuerza que la mano del hombre. Las aves migratorias suelen ser insectívoras; en invierno, el abastecimiento disminuye y se alimentan, sobre todo, de larvas que viven en la madera y en la tierra.

Las aves rapaces carnívoras capturan a veces presas voluminosas. Para consumirlas, tienen que despedazarlas con el pico. Las aves piscívoras engullen los peces, tragando siempre lo primero la cabeza, inmediatamente después de capturarlos. En general, las rapaces nocturnas (búhos, mochuelos, lechuzas, etc.) y las diurnas (ratoneros y halcones) se suceden en un mismo terreno de caza; unas actúan por la noche y las otras por el día. Si bien algunas nocturnas pueden cazar de día, ninguna diurna puede hacerlo de noche. Las rapaces nocturnas, una o dos veces al día, regurgitan los productos que no digieren amalgamados en las llamadas egegrópilas. Estudiando la forma de esas bolas, se puede identificar la especie de ave de la que proceden y, examinando su contenido, se puede determinar de qué se alimenta.

### 43.2.5. Aparato digestivo Mamíferos

Los dientes (alveolados) tienen una gran importancia en el estudio de los Mamíferos. La mayoría de los Mamíferos tienen dos denticiones (**difiodontos**); la de leche y la definitiva. Los Cetáceos y Desdentados sólo poseen una (**monofiodontos**). Los dientes son distintos entre sí (**heterodontos**), excepto entre los Cetáceos y Desdentados (**homodontos**), creyéndose que esta homodoncia es una adquisición secundaria.

Los dientes son estructuras ectodérmicas que se hunden en el mesodermo, están formado por dentina, pulpa dentaria y cemento, recubiertos por el esmalte.

Los **dientes se clasifican** según su posición en la mandíbula. Los **incisivos** se implantan en los huesos premaxilares y en la parte anterior de la mandíbula. Tienen una única raíz. Los **caninos** están situados en la sutura que separa los premaxilares de los maxilares, también tienen una única raíz. Los dientes yugales (**premolares** y **molares**) se fijan en el maxilar. Los premolares anteriores, y generalmente unirradiculados van precedidos de los molares de leche. Los molares, con varias raíces y corona más complicada, son posteriores y no se reemplazan.

Algunos dientes tienen crecimiento continuo, como sucede con los incisivos de los roedores y los colmillos de los elefantes, careciendo de raíz y de esmalte.

Es frecuente representar la dentición de los distintos órdenes de mamíferos mediante la fórmula dentaria (F.D.). El número de dientes de los mamíferos primitivos era de 44; repartidos según la siguiente fórmula dentaria

$$3 I : 1 C : 4 Pm : 3 M$$



3 I : 1 C : 4 Pm : 3 M

En especies actuales hay una reducción en el número, excepto en los Cetáceos y Desdentados, que pueden tenerlo mayor.

Se pueden distinguir diferentes tipos de dientes yugales o molares:

- Tipo **Bunodonto**. Propio de los omnívoros (Primates, Suidos). Formado por cuatro tubérculos diferenciados, con las cúspides redondeadas.
- Tipo **Secodonto**. Carnívoros, Quirópteros, Insectívoros. Los tubérculos están comprimidos lateralmente y unidos por crestas cortantes.
- Tipo **Lofodonto**. Roedores, Proboscídeos. Los tubérculos son bajos y romos y están unidos por crestas, orientadas perpendicularmente al sentido de la masticación.
- Tipo **Selenodonto**. Rumiantes. Las cúspides se curvan en forma de media luna.

En general la forma y el desarrollo de los dientes está en relación con el régimen alimenticio.

El tubo digestivo de los mamíferos varía mucho con los diferentes géneros. La longitud del de los herbívoros es más largo y complejo que el de los carnívoros u omnívoros.

El estómago comprende cuatro regiones: una región esofágica con un epitelio estratificado desprovisto de glándulas; una región cardiaca, con glándulas; una región fúndica, en donde se encuentran las glándulas de pepsina, y una región pilórica, provista de glándulas pilóricas.

El **estómago de los Rumiantes** se divide en cuatro compartimentos: la panza, la redecilla, el libro y el cuajar, que es el único con glándulas digestivas.

El intestino delgado es muy largo sobre todo en los herbívoros. En el punto de unión del intestino delgado con el grueso se encuentra una evaginación o ciego, que alcanza un gran desarrollo entre los herbívoros (en el caballo tiene una capacidad de 80 litros). El hígado es lobulado y tiene casi siempre vesícula biliar. El páncreas está bien desarrollado.

### 43.3. Aparato respiratorio.

El medio, terrestre o acuático, es un factor que provoca en la evolución animal modelos distintos de aparatos respiratorios. Como la vida surgió en el agua, son los vertebrados acuáticos los que presentan aparatos respiratorios más sencillos.

El aire atmosférico contiene una cantidad prácticamente constante de  $O_2$  (21 %), en cambio en el agua pueden producirse amplias variaciones. La disponibilidad de  $O_2$  es menor en el agua marina que en la dulce, y en ambos casos varía con la temperatura (como máximo es del 1 % en volumen).

Se deduce de ello que la respiración en el aire presenta claras ventajas. Si un animal requiere una determinada cantidad de  $O_2$ , debe mover para obtenerla mucha mayor cantidad de agua que de aire, y, al ser más pesada y densa, el trabajo respiratorio es mayor (los peces se ven obligados a nadar continuamente para obtener  $O_2$  del agua, tragando agua y expulsándola por sus opérculos, y en este proceso gastan casi el 25 % de la energía que producen).

En los Agnatos, Peces y larvas de Anfibios el aparato respiratorio está formado por branquias. En Anfibios adultos, Reptiles, Aves y Mamíferos y en algunos peces las branquias son sustituidas por un par de pulmones, situados detrás de la faringe y en posición ventral. Tanto los pulmones como las branquias derivan de la faringe.

Las **branquias**. A cada lado de la faringe se disponen unas láminas branquiales sostenidas por los arcos branquiales del esplanocráneo. Se trata de un tejido muy vascularizado que, mediante un mecanismo de contracorriente, capta el  $O_2$  disuelto en el agua. En los Reptiles, Aves y Mamíferos aparecen esbozos branquiales en el embrión. Las branquias son casi siempre internas (excepto en larvas de anfibios). El agua cargada de  $O_2$  penetra por la boca y sale por la/s hendiduras branquiales. En algunos peces se produce una evaginación del intestino anterior formando la vejiga natatoria, esta se comunica con aquel a través del un conducto (neumático), al parecer tiene una función hidrostática.

Los **pulmones**. El aparato respiratorio de los vertebrados terrestres consta de las siguientes partes: Fosa nasales o coanas, faringe, laringe, tráquea, bronquios y los pulmones. Éstos son órganos esponjosos que ocupan casi toda la cavidad torácica. En su interior los bronquios se ramifican en ramas cada vez más finas que, en Aves y Mamíferos, terminan en unas vesículas microscópicas (alvéolos pulmonares), rodeadas de una abundante red de capilares sanguíneos. En los anfibios los pulmones son unos sacos huecos, dada su precariedad estos individuos tienen que complementar su respiración pulmonar con la cutánea. Este tipo de respiración requiere una piel fina y permeable a los gases, constantemente humedecida, y capilares sanguíneos situados muy cerca del exterior para facilitar el intercambio de gases.

Los pulmones de las aves se hallan rodeados de unas bolsas o **sacos aéreos** que comunican con ellos y con algunos de los huesos de su esqueleto (**huesos neumáticos**), consiguiendo almacenar más cantidad de aire.

En el aparato respiratorio pulmonar la entrada y salida de aire se logra porque los pulmones, al ser elásticos, actúan como fuelles, hinchándose y contrayéndose alternativamente. La entrada de aire en los pulmones se llama inspiración; su expulsión expiración.

Es frecuente el desarrollo de **órganos de fonación** asociados al aparato respiratorio de los vertebrados terrestres (Saurios, Anuros, Mamíferos, las Aves, etc.). En los vertebrados terrestres se encuentran las cuerdas vocales, que son repliegues membranosos de la pared interna de la laringe, constituidos principalmente por fibras elásticas que vibran con el paso del aire y producen sonidos. La **siringe** de las aves es una porción dilatada del conducto traqueal, cerca de la ramificación branquial. En su interior puede existir un cartílago (pesario) que contribuye a la emisión del sonido.

En la ventilación pulmonar, así como en la traqueal (insecto), se presenta el problema del **espacio muerto** (aire residual), pues en la superficie alveolar el aire contienen mucho CO<sub>2</sub> proveniente de la sangre, que no se puede expulsar totalmente, por lo que la cantidad de O<sub>2</sub> que llega a la superficie de los alvéolos es menor que en la atmósfera.

### 43.3.1. Aparato respiratorio de los peces

Las branquias están formadas por laminillas membranosas, sujetas a los arcos branquiales. Están recorridas por los vasos branquiales aferentes y eferentes. Limitadas por un delgado epitelio, tienen células en pilastra, que dejan entre sí lagunas sanguíneas en donde se efectúan los intercambios gaseosos. Las condiciones que deben cumplir las branquias para ser efectivas en el intercambio de gases son poseer una amplia superficie, tener una epidermis fina y estar muy vascularizadas. Debido a la escasez del O<sub>2</sub> en el agua (25 veces menor que en el aire), el agua que baña las branquias debe renovarse constantemente mediante el movimiento del propio animal, o manteniendo una corriente de agua que pase a través de ellas.

El pez traga agua con un ritmo regular. Penetra por la faringe, va a las branquias y sale por las ventanas branquiales (cinco en Elasmobranquios) o por el opérculo (Teleostomos). El flujo de agua a través de las branquias se efectúa a contracorriente de la circulación sanguínea para facilitar el intercambio gaseoso.

Algunos peces están provistos de órganos especiales que les permiten utilizar directamente el aire atmosférico. Ej. Sacos aéreos de Siluros; órganos arborescentes de algunas branquias; los "pulmones" derivados de la vejiga natatoria de los Dipnoos, etc.

Los peces de los ríos tropicales (y también los de algunas zonas templadas) que viven en aguas con bajo contenido en O<sub>2</sub>, tragan aire en la superficie y respiran a través de su mucosa gástrica o intestinal. Se han descrito gran variedad de adaptaciones respiratorias: cámaras aéreas suprabranquiales, cámaras faríngeas y operculares, etc. Hay regiones con zonas pantanosas secas en ciertas épocas del año, en donde algunos tipos de peces poseen adaptaciones que les permiten pasar la época de sequía respirando aire del lodo.

### 43.3.2. Aparato respiratorio de los Anfibios

El aparato respiratorio de los adultos se compone de un par de pulmones, que se diferencian poco de la vejiga natatoria de los Dipnoos, ya que su pared es más o menos lisa.

La respiración es **buco-faríngea** ya que carecen de caja torácica, se lleva a cabo por movimientos del suelo de la boca parecidos a la deglución. Los orificios nasales se abren y el aire penetra en cavidad bucal (aspiración). Cuando la plataforma bucal está en la posición más bajas, los orificios nasales se cierran y la plataforma se levanta, haciendo que el aire penetre en los pulmones (inspiración) ensanchándolos. Los

pulmones se estrechan, la plataforma bucal desciende y el aire es expulsado al exterior (expiración). Existe una densa capilarización tanto en la boca como en la faringe.

Las larvas de los Urodelos toman el oxígeno del agua mediante tres pares de branquias, que comunican al exterior por ventanas branquiales. Las de los Anuros tienen un opérculo que recubre las branquias.

La **respiración cutánea** es de capital importancia. La piel, muy vascularizada, debe estar siempre húmeda. De no ser así, el animal muere asfixiado por no poderse realizar el intercambio gaseoso.

En muchos anuros, el adulto está provisto de un **órgano vocal** mediante el cual puede emitir sonidos, que en los machos se refuerza por los sacos vocales, formados por la mucosa faríngea. Puede ser un sólo saco llamado saco gutural (ranita de S. Antonio o Hyla) o pueden ser dos, situados uno en cada comisura bucal (rana verde). El canto puede ser provocado por distintas situaciones (sexual, territorio, lluvia, peligro, etc.).

### 43.3.3. Aparato respiratorio de Reptiles

Es de tipo pulmonar perfecto. El aire penetra por los orificios nasales y pasa a una laringe cartilaginosa, capaz de emitir sonido. La tráquea puede tener algunos anillos osificados. La superficie interna de los pulmones está más o menos dividida en septos. Del pulmón de los camaleones surgen sacos aéreos. El pulmón izquierdo de los Ofidios y Saurios se reduce, presentando una dilatación traqueal, llamada pulmón traqueal. Los Quelonios tienen unas vesículas anales con función respiratoria.

### 43.3.4. Aparato respiratorio de Aves

Pulmonar. Está muy modificado por su adaptación al vuelo, que exige una gran ventilación. Al igual que en los reptiles, la ventilación se consigue mediante **músculos intercostales**, que aumentan y disminuyen la capacidad torácica.

La glotis se continúa por una tráquea reforzada por cartílagos circulares. Sigue una siringe u órgano fonador de las que pocas especies carecen. Desde la siringe, un corto bronquio conduce a cada pulmón. La cantidad de músculos de la siringe constituye un criterio sistemático entre los Paseriformes.

Los pulmones se forman a expensas del tubo digestivo del embrión. Son pequeños y se aplican directamente sobre las costillas, ya que la pleura desaparece durante el desarrollo del animal.

De cada pulmón dependen cinco **sacos aéreos**, que se extienden entre los distintos órganos del cuerpo (cuello, tórax y abdomen) y penetran, incluso, en el interior de los huesos.

Los movimientos respiratorios y el movimiento de las alas, durante el vuelo, provocan una dilatación de los sacos aéreos y hacen que el aire penetre en los pulmones y de allí a los sacos aéreos, desde donde regresa por distintos pasajes pulmonares para ser exhalado. En la expiración, los sacos aéreos se contraen y expulsan gran parte del aire que poseen, el cual vuelve a pasar por los bronquiolos. La casi ausencia de diafragma hace que inspiración y expiración dependan del movimiento de la pared del cuerpo, sobre todo de la caja torácica.

Los sacos aéreos evitan el calentamiento excesivo del animal durante el vuelo, producido por el gran trabajo muscular que realizan. Actúan a modo de refrigeradores, este aire húmedo reemplaza a las glándulas sudoríparas de algunos mamíferos. Los sacos aéreos disminuyen el peso específico facilitando el vuelo (flotación).

### 43.3.5. Aparato respiratorio de Mamíferos

Pulmonar. Los pulmones son órganos esponjosos y elásticos, con una estructura alveolar muy compleja. Los bronquios, al llegar a los pulmones, se dividen en gran número de bronquiolos, los cuales terminan en unas pequeñas ampollas muy vascularizadas (alvéolos), en donde se realizan los intercambios gaseosos. Los pulmones están recubiertos por la **pleura**.

Están separados de la cavidad abdominal o peritoneal por un músculo (**diafragma**), cuya contracción, y la de los músculos intercostales, eleva la caja torácica, lo que motiva los movimientos de inspiración. El descenso de la caja torácica, al relajarse el diafragma, permite la expulsión del aire de los pulmones (expiración).

Poseen un órgano intercalado en el aparato respiratorio, la **laringe**, en cuyo interior existen unos repliegues (**cuerdas vocales**). El aire que pasa a través de la laringe hace vibrar las cuerdas vocales y se



producen sonidos. estos se modulan después, mediante los labios y la lengua, lo que les proporciona grandes posibilidades de emitir sonidos diferentes, en algunos grupos constituye un verdadero lenguaje.

### 43.4. Aparato circulatorio.

El sistema circulatorio, arterial, venoso y linfático es **cerrado**. El corazón es un órgano musculoso (estriado), de origen mesodérmico, ocupa posición torácico-ventral y tiene, al menos, dos cavidades; está rodeado por una membrana llamada **pericardio**.

La sangre es de color rojo en razón de un pigmento respiratorio (**hemoglobina**), que está contenido en los glóbulos rojos o hematíes. Otras células que contiene la sangre son diferentes glóbulos blancos o leucocitos, así como plaquetas. Las arterias se ramifican, en los distintos órganos, en una red capilar, con un polo arterial y otro venoso, en donde tiene lugar el intercambio de sustancias entre la sangre y las células.

#### Evolución de los arcos aórticos.

La mayoría de los embriones de los vertebrados poseen un sistema arterial formado esquemáticamente por un vaso ventral, denominado aorta, unido mediante seis pares de arcos aórticos laterales a un par de aortas dorsales que se unen en una sola. Este esquema sufre una transformación durante el desarrollo embrionario y también en el marco del proceso evolutivo de los vertebrados: los Elasmobranquios han perdido el primer par de arcos aórticos; los demás forman los arcos branquiales.

Los Teleósteos han perdido los pares primero y segundo. En anfibios y reptiles sólo aparecen el tercer par, que da lugar a las carótidas, el cuarto, que forma las aortas, y el sexto, que origina las arterias pulmonares. En las aves desaparece la aorta izquierda, quedando sólo la derecha, mientras que en los mamíferos sucede al revés.

La circulación en los vertebrados puede ser **simple**, cuando la sangre sólo pasa una vez por el corazón en cada vuelta al cuerpo (animales con respiración branquial), o **doble**, cuando pasa dos veces por el corazón (animales con respiración pulmonar).

La simple se da en los peces, que poseen un corazón constituido por un seno venoso, una aurícula y un ventrículo muy musculoso. La circulación doble se da en Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos. Poseen dos circuitos circulatorios, con lo que el transporte de sangre es más eficaz: el circuito circulatorio menor o pulmonar y el circuito circulatorio mayor o general, también llamada circulación sistémica. La circulación doble, a su vez, puede ser:

- a) **incompleta**, por lo que hay mezcla de sangre oxigenada y sin oxígeno, por poseer un corazón tricavitario (Anfibios y casi todos los Reptiles), y
- b) **completa**, sin mezcla de sangre oxigenada con sangre pobre en O<sub>2</sub>, al tener un corazón tetracavitario (Aves y Mamíferos).

Los Reptiles presentan un corazón con esbozo de tabique intraventricular. Este tabique es completo únicamente en el orden Crocodrilianos.

La observación de los corazones de los vertebrados pone de manifiesto la existencia de una clara tendencia evolutiva hacia la **compartimentación**. Del corazón bicavitario de los peces, pasamos al tetracavitario de aves y mamíferos. Éste tipo de corazón, además de evitar la mezcla de sangres, permite mantener la presión sanguínea (y, por tanto, la velocidad de flujo) de la circulación general por la fuerza del lado izquierdo del corazón, mientras que la parte derecha sólo se encarga de la circulación pulmonar. De esta manera queda solucionado el problema que se planteaba de la reducción de presión en los peces, provocada por ir la sangre en primer lugar al aparato respiratorio.

#### El sistema vascular linfático de los vertebrados

Transporta la **linfa**, que tiene esencialmente la misma composición que el líquido intersticial que baña los tejidos; aunque su contenido en proteínas es menor que el del plasma sanguíneo. Su misión fundamental es la de recoger el plasma que filtraron los capilares a los tejidos; parte de este plasma vuelve a los capilares, y el resto regresa al torrente sanguíneo a través de los vasos linfáticos. Está constituido por

pequeños vasos en todos los espacios tisulares, de pared delgada ; se van uniendo entre sí formando los vasos linfáticos, que a su vez confluyen en las venas. Los peces, anfibios y reptiles poseen corazones linfáticos accesorios.

Además, el sistema linfático desarrolla otras funciones: está implicado en la defensa del organismo, pues los **ganglios**, que se encuentran en las zonas de confluencia de los vasos linfáticos, son tejidos formadores de **linfocitos**; y participan en el transporte de grasas absorbidas en las vellosidades intestinales (sobre todo las que contienen ácidos grasos de cadena larga).

#### 43.4.1. Sistema circulatorio de los Peces

**Circulación simple y completa.** Tienen el corazón envuelto por un pericardio de origen celómico; está situado en la línea medio-ventral del animal, tras el último arco branquial. Consta de una aurícula y un ventrículo. Del ventrículo sale una gruesa arteria branquial, que se divide en arterias branquiales aferentes (tantas como branquias). En las branquias se ponen en comunicación, mediante una red capilar, con las arterias branquiales eferentes, que llevan la sangre oxigenada a la aorta dorsal, la cual la distribuye por todo el cuerpo. Este hecho da lugar a que la presión de la sangre sea algo reducida, ya que es preciso vencer la resistencia que ofrecen las branquias; además, el corazón recibe la sangre que procede de los tejidos y que ha agotado la mayor parte de su contenido en oxígeno. Así pues, es necesario abastecer directamente al corazón de sangre oxigenada mediante la **arteria carótida**.

La sangre vuelve al corazón por un complejo sistema venoso. El sistema porta-renal desemboca en el seno venoso que comunica con la aurícula a través de las venas cardinales posteriores. El sistema porta-hepático lleva la sangre al seno venoso a través de la vena aorta y de la vena hepática. Gruesas venas laterales llevan al corazón la sangre de la parte posterior del cuerpo. La sangre de la parte anterior es conducida por las venas cardinales anteriores. Los glóbulos rojos son nucleados, y tienen forma elipsoidal. También poseen corazones linfáticos.

#### 43.4.2. Aparato circulatorio de los Anfibios

El corazón tiene dos aurículas y un ventrículo. La circulación es **doble**, y existe mezcla de sangre arterial y venosa (**circulación incompleta**), no obstante este asunto no está resuelto del todo (lo cuestiona el zoólogo Grassé, entre otros). Glóbulo rojos poco numerosos (entre 36.000 y 60.000), elípticos y nucleados. La sangre que sale del pulmón, por las venas pulmonares, desemboca en la aurícula izquierda. La que viene del resto del cuerpo, por las dos venas cavas (superior e inferior), desemboca en unos senos venosos que van a parar a la aurícula derecha.

Las dos aurículas no se contraen a la vez. Cuando la derecha está llena envía su contenido al ventrículo, el cual se contrae, pero únicamente en su porción derecha. En este momento los troncos aórticos están llenos, mientras que las arterias pulmonares están vacías. La sangre, al no tener presión que vencer, entra en estas. Durante este tiempo, la aurícula izquierda se llena y manda su sangre al ventrículo, el cual se contrae en su parte izquierda. Al estar llenas las arterias pulmonares, la sangre se lanza a los troncos aórticos. Este juego de contracciones permite que hay una cierta separación entre la sangre arterial y la venosa. Del tronco arterial derivan cuatro arcos (tres branquiales y uno pulmonar). Al desaparecer la respiración branquial, el primero da lugar a las carótidas, el segundo a los arcos aórticos. El arco aórtico y la arteria pulmonar comunican a través del conducto de Botal. Poseen un sistema porta-hepático y renal. Poseen, también, un aparato linfático complejo y muy desarrollado. La linfa es parecida al plasma sanguíneo sin eritrocitos. Los corazones linfáticos, conducen la linfa al corazón, batiendo a distinto ritmo que éste.

#### 43.4.3. Aparato circulatorio de Reptiles

**Doble e incompleta.** Las dos aurículas suelen estar completamente separadas, excepto en los Ofidios. El ventrículo, salvo en los cocodrilos, está dividido, por un tabique incompleto, en una parte derecha, de donde salen las arterias pulmonares, y en una parte izquierda, que es la más importante, de donde salen un par de arcos aórticos. Existe además un pequeño seno venoso. Los glóbulos rojos son nucleados y elípticos.

La sangre pasa del seno venoso a la aurícula derecha, y de esta al ventrículo derecho. Las arterias pulmonares llevan la sangre al pulmón. A través de las venas pulmonares, pasa a la aurícula izquierda, y luego al ventrículo izquierdo. Sale por un par de arcos aórticos. De la base del arco derecho salen dos arterias carótidas, que van a la cabeza. Una arteria subclavia va a cada uno de los miembros anteriores. Los dos arcos aórticos se unen dorsalmente (aorta dorsal), distribuyéndose la sangre por los órganos, de donde es recogida por las cavas superior e inferior, que desembocan en el seno venoso, de donde la sangre pasa a la aurícula derecha.

En los cocodrilos hay comunicación entre la arteria pulmonar y la aorta, mediante el agujero de Panizza. Poseen corazones linfáticos en la parte posterior. El ritmo cardíaco y la presión arterial aumenta con la temperatura.

#### 43.4.4. Aparato circulatorio de aves

El corazón, de forma cónica, es tetracavitario. La sangre venosa está completamente separada de la sangre arterial. La circulación es **doble y completa**. La aurícula y el ventrículo izquierdos tienen una musculatura más poderosa que la aurícula y el ventrículo derechos. Del ventrículo izquierdo sale un cayado aórtico derecho, que emite dos ramas hacia la cabeza y se continúa por la aorta dorsal, la cual lleva la sangre al resto del cuerpo.

El sistema venoso se simplifica por la notable reducción del sistema portarrenal. Dos venas cavas anteriores recogen la sangre de la parte anterior, y una cava posterior la del resto del cuerpo.

El corazón de las aves late más rápidamente que el de los mamíferos. La presión sanguínea es también mayor en aquellas que en éstos. Los eritrocitos son nucleados y los leucocitos abundan más que en los mamíferos, ya que tienen más órganos leucopoyéticos (hígado, bazo, riñones, bolsa de Fabrizio, etc.).

#### 43.4.5. Aparato circulatorio de mamíferos

El corazón tetracavitario está situado en la cavidad torácica; está envuelto por una delicada membrana (pericardio). Las dos aurículas y los dos ventrículos están completamente separados. La circulación es **doble** (un circuito menor o pulmonar y otro mayor) y **completa**.

Es semejante al de las Aves, pero en vez de tener un cayado aórtico derecho, poseen un cayado aórtico izquierdo. Los glóbulos rojos son anucleados, excepto en los camellos. El aparato circulatorio humano que se describe en el tema 53, puede ser representativo del grupo.

#### 43.5. Aparato excretor

Es de origen mesodérmico, los elementos fundamentales son las **nefronas** o tubos renales, que se agrupan formando los riñones. Un par de uréteres evacúan los productos de la excreción.

Los riñones derivan de los metanefridios. Hay de varios tipos, que se pueden relacionar en el marco de un proceso evolutivo y embriológico.

- **Pronefros**, que se dan en los embriones, larvas y algunos anamniotas. Está formado por un túbulo en el que desembocan una serie de nefrostomas. Estos se hallan cerca de los capilares apilotonados (glomérulos). La filtración de la sangre se realiza a través del celoma existente entre los glomérulos y los nefrostomas.
- El **mesonefros**, aparece en peces y anfibios. El glomérulo se encuentra rodeado por el túbulo renal, por lo cual la filtración se realiza directamente. El nefrostoma está atrofiado. Es el riñón embrionario de los amniotas.
- **Metanefros**, es propio de reptiles, aves y mamíferos. El glomérulo se encuentra dentro de una estructura denominada cápsula de Bowman y desaparece el nefrostoma y todo resto de metamerización. Los túbulos renales desembocan en tubos colectores y éstos en el uréter. Éste, en las aves, se comunica con el exterior por la cloaca. En los reptiles y mamíferos, el uréter se comunica con la vejiga urinaria. En mamíferos, esta comunica con el exterior a través de la uretra. La nefrona típica del metanefros está formada por la cápsula de Bowman, túbulo contorneado proximal, asa de Henle y el túbulo contorneado distal, que desemboca en el conducto colector.

Los acuáticos son, casi todos, **amoniotélicos**, ya que excretan amoniaco, que se diluye en el agua, no alcanzando concentraciones tóxicas dentro de su cuerpo. En los de agua salada (teleósteos marinos) el amoniaco se excreta por transporte activo, a través de las branquias. En los anfibios los renacuajos excretan amoniaco y los adultos urea. Los reptiles y aves, que viven en ambientes muy secos, son **uricotélicos**, excretan ácido úrico y economizan gran cantidad de agua. Elasmobranquios, anfibios, quelonios y mamíferos son ureotélicos, excretan urea. Además de estos productos de excreción existen otros como la alantoína de mamíferos; los primates y la especie humana también excretan ácido úrico.

### 43.5.1. Aparato excretor de los peces

El riñón es de tipo mesonefros, que comunica por su parte interior con el celoma y, por otro lado, con el canal de Wolff, que desemboca en la cloaca. Cada tubo tiene en su interior una o varias cámaras, en la que se forman los glomérulos de Malpighi. Según las especies, los riñones pueden ser masas compactas o estar formados por varios segmentos separados.

Uno de los mayores problemas que los peces tienen que resolver, es el de la entrada y salida en su cuerpo de agua y sales. En los de agua dulce, por ósmosis, hay tendencia a penetrar agua en las células y salir sales minerales de la sangre. Las branquias son el lugar de cambio, ya que la piel es gruesa. Sus riñones tienen glomérulos con cápsula de Bowman muy desarrollada, en ellos el agua es vertida a presión, compensando la que penetra. En las especies marinas pasa todo lo contrario. Existen diversos mecanismos para evitar pérdidas de agua y ganancia de sales. En los cartilaginosos, la sangre se carga de urea, hasta igualar la concentración molecular a la del agua del mar. Entonces, en equilibrio ni se gana ni se pierde agua. El exceso de sales que penetran, se eliminan por varios procedimientos.

En los peces óseos, los riñones no filtran, sino que expulsan sustancias selectivamente, para evitar pérdida de agua. Y el exceso de sales que penetran, lo eliminan determinadas células situadas en las branquias, realizando un trabajo considerable.

### 43.5.2. Aparato excretor de los Anfibios

Tipo **Mesonefros**. Solamente poseen un riñón funcional, cuyos tubos uriníferos son relativamente grandes y poco numerosos. La orina se evacua por los uréteres o conductos de Wolff, que desembocan en la cloaca. La vejiga urinaria no está relacionada directamente con los conductos urinarios. Es una invaginación de la pared ventral de la cloaca en las proximidades de los orificios de los conductos de Wolff. Tiene una gran capacidad. Se puede considerar a la piel como órgano excretor ya que a través de ellas, insensiblemente, se pierde agua además de dióxido de carbono.

La excreción en la fase acuática es parecida a la de los peces de agua dulce, puede ser muy abundante (un tercio del peso cada día); la intensidad depende de la temperatura ambiente y del tamaño.

### 43.5.3. Aparato excretor de Reptiles

Los riñones de tipo **metanefros** son planos y lobulados, y, como en las Aves, con cápsula de Bowman atrofiada. Están situados a ambos lados de la columna vertebral. Los uréteres desembocan aisladamente en la cloaca. La vejiga urinaria, que deriva del alantoides, únicamente la poseen los lagartos y las tortugas. Se abre en la parte ventral de la cloaca, sin relación directa con los uréteres. Los lagartos y las serpientes excretan ácido úrico (uricotélicos), los Quelonios urea y ácido úrico, y los cocodrilos amoniaco, y ácido úrico.

### 43.5.4. Aparato excretor de aves

**Metanefridios**. Poseen un par de riñones trilobulados. De cada uno de ellos sale un uréter, que desemboca en la cloaca. Carecen de vejiga urinaria. La orina es semisólida y muy rica en ácido úrico (uricotélicos); este y la urea se fabrican en el hígado. Se mezcla con los excrementos, cubriéndolos en forma de una sustancia blanquizca.

El riñón elimina mal la sal; para eliminarla existe la **glándula de la sal**, situada alrededor de los ojos, a través de ella se expulsa una disolución muy concentrada de cloruro sódico, que resbala, gota a gota por las fosas nasales.

### 43.5.5. Aparato excretor de Mamíferos.

Es de tipo **metanefros**. Los riñones están situados en la región lumbar. En los Monotremas los uréteres desembocan en la cloaca, y en los demás Mamíferos, en la parte posterior de la vejiga urinaria. Esta comunica con el exterior por la uretra. El riñón consta de dos zonas: corteza y médula (contiene las pirámides de Malpighi); la unidad funcional es la nefrona que está constituida por: la cápsula de Bowman que rodea al glomérulo de Malpighi, el tubo contorneado proximal, el asa de Henle (muy desarrollada en animales que viven en los desiertos) y el túbulo contorneado distal, que vierte en el tubo colector.

Por la orina, los mamíferos, excretan urea (forma de excreción del nitrógeno proteico) y alantoína (forma de excreción del nitrógeno de las bases púricas). Los mamíferos que viven en condiciones extremas de disponibilidad de agua (desiertos), el asa de Henle se desarrolla mucho haciéndose más larga y en algunos casos (rata canguro) alcanza tal capacidad que permite eliminar una orina casi veinte veces más concentrada de lo habitual.

Encima de los riñones se encuentran las cápsulas suprarrenales.

### 43.6. Homeostasis y Homeotermia

El cuerpo de las aves, como el de los mamíferos, está siempre a la misma temperatura interior, de modo que el metabolismo celular funciona siempre al mismo ritmo, independientemente de la temperatura ambiente; esto constituye una indudable ventaja biológica sobre otros vertebrados, que son poiquiloterms.

La temperatura interna de las aves está comprendida entre los 40° y los 42° C, estando en relación inversa con su tamaño. Se logra mantener constante esta temperatura mediante diferentes acciones: Alzar las alas cuando hace calor, evacuar aire caliente en el intercambio respiratorio, etc.

Sin entrar en detalles diremos que los mamíferos han alcanzado una exquisita capacidad para regular la composición de su medio interno. A modo de ejemplo comentaremos algunos aspectos relacionados con la homeotermia.

La Homeotermia o sangre caliente, les permite ser algo más independientes de la temperatura del medio. Tienen mecanismos reguladores muy precisos de esta temperatura y otros de aislamiento térmico. Estos últimos, debido a la piel provista de pelos y a una capa profunda de tejido graso aislante, en la dermis.

Existe un órgano central "calefactor" (hígado), y mecanismos para evitar un exceso de temperatura interna. En la piel, glándulas sudoríparas, capaces de enfriar la piel por evaporación del agua que contienen. Además, pueden existir órganos encargados de la disipación del calor (orejas de elefantes y conejos).

Los desplazamientos de los mamíferos son más lentos que los de las aves, y no pueden alejarse de una zona hostil con la suficiente rapidez. Por ello, muchos son capaces de variar la temperatura corporal por la secreción de una hormona (tiroxina). Se podrían poner múltiples ejemplos de este hecho.

Esta homeotermia requiere de precisos mecanismos reguladores de la temperatura, uno de los cuales radica en el sistema nervioso, como los que determinan "tiritar" cuando hace frío o los que estimulan la sudoración, en los mamíferos, cuando hace calor; pero también se vale de mecanismos simplemente físicos, como los de las plumas, que interponen un colchón de aire entre el cuerpo y el exterior para impedir la pérdida de calor.