

## TEMA 2.2: LA NUTRICIÓN EN LOS ANIMALES

### 1- INTRODUCCIÓN

### 2- LA DIGESTIÓN EN ANIMALES

#### 2.1 LOS APARATOS DIGESTIVOS

#### 2.2 FISIOLÓGÍA DEL APARATO DIGESTIVO EN VERTEBRADOS

### 3- LA RESPIRACIÓN EN ANIMALES

#### 3.1 RESPIRACIÓN CUTÁNEA

#### 3.2 RESPIRACIÓN TRAQUEAL

#### 3.3 RESPIRACIÓN BRANQUIAL

#### 3.4 RESPIRACIÓN PULMONAR

### 4- LA CIRCULACIÓN EN ANIMALES

#### 4.1 TIPOS DE APARATOS CIRCULATORIOS

#### 4.2 LA FISIOLÓGÍA DEL APARATO CIRCULATORIO

### 5- LA EXCRECIÓN

#### 5.1 LOS APARATOS EXCRETORES

#### 5.2 LA OSMORREGULACIÓN



La mariposa *Polyommatus icarus* toma el néctar de la orquídea *Orchis militaris*.

## 1- INTRODUCCIÓN

Los animales son organismos heterótrofos que han de tomar alimentos orgánicos elaborados por otros seres vivos. Los **alimentos** contienen biomoléculas complejas, de las que se obtienen los **nutrientes** que las células incorporan en sus rutas metabólicas.

La **nutrición** es el conjunto de procesos mediante la cual los animales obtienen la materia necesaria para crecer y mantener las estructuras corporales, y la energía necesaria para el desarrollo de las funciones vitales. Incluye los siguientes procesos:

1. **Digestión:** descomposición de los alimentos (sustancias orgánicas complejas) en nutrientes (biomoléculas sencillas).
2. **Respiración:** intercambio de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) con el medio.
3. **Circulación:** aporte de nutrientes y de  $O_2$  a las células y recogida de las sustancias de desecho generadas por el metabolismo de éstas.
4. **Excreción:** eliminación de productos de desecho metabólico (inútiles o tóxicos) y mantenimiento de la **homeostasis**.

En los animales más sencillos, las células están en contacto más o menos directo con el medio externo, del que toman los nutrientes y al que expulsan los desechos. Conforme aumenta la complejidad, las células se alejan de este medio externo y surge la necesidad de la aparición de **aparatos** específicos para cada uno de estos procesos.

## 2- LA DIGESTIÓN EN LOS ANIMALES

En el proceso digestivo, se extraen los nutrientes de los alimentos para que pasen al fluido circulatorio. Consta de cuatro fases:

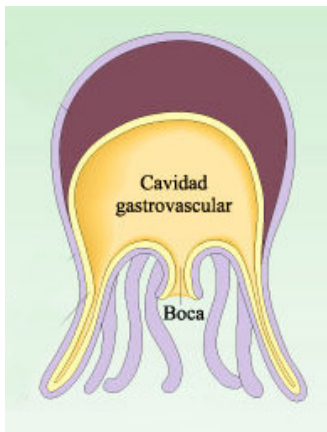
1. **Ingestión:** consiste en la captura e introducción de los alimentos en el organismo. Se realiza en la boca y puede ser de dos tipos:
  - a) **Pasiva:** presente en animales sésiles o de movimientos lentos, consiste en la toma de alimentos de tamaño muy reducido (**micrófagos**). Entre ellos están:
    - Los **filtradores:** retienen las partículas alimenticias que flotan en el agua, conduciéndola hacia la boca, mediante corrientes de agua originadas por células ciliadas (coanocitos de poríferos o branquias ciliadas de bivalvos), a través de las propias corrientes del medio (gusanos tubícolas) o con su propio movimiento (crustáceos y ballenas con barbas).
    - Los **sedimentívoros:** se alimentan de partículas presentes en los sedimentos que ingieren (algunos anélidos, bivalvos, holoturias, etc)
    - Los **fluidófagos:** absorben líquidos nutritivos (sangre, savia, néctar) a través de bocas chupadoras (mosquitos, abejas, lepidópteros) o ventosas con dientes (sanguijuelas y lampreas). También se incluyen parásitos intestinales que absorben el quilo a través de la pared del organismo (tenias)
  - b) **Activa:** mediante un sistema de captación, el animal captura y sujeta el alimento, ya de un tamaño considerable (**macrófagos**). Es propio de animales más activos y presenta estructuras específicas como la rádula (gasterópodos), los tentáculos (celentéreos y cefalópodos), los apéndices bucales (artrópodos), los dientes (vertebrados) y el pico córneo (aves o quelonios).
2. **Digestión:** es la transformación de las biomoléculas complejas que contienen los alimentos en los nutrientes sencillos que van a necesitar las células. Es un proceso

**mecánico** (trituration de los alimentos) y **químico** (degradación de las biomoléculas en sus monómeros). La digestión química puede efectuarse de tres maneras:

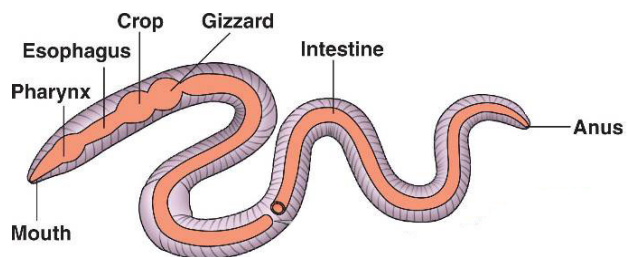
- a) **Intracelular**: en el interior de células a través de los lisosomas.
  - b) **Mixta**: se realiza en dos etapas: primero extracelular en la cavidad gastrovascular y posteriormente intracelular.
  - c) **Extracelular**: se realiza fuera de las células, en cavidades internas propias del tubo digestivo.
3. **Absorción**: es el proceso en que los nutrientes pasan desde el interior del aparato digestivo al líquido circulatorio del animal, para ser distribuidos por todo el organismo. Se realiza a través de una superficie de absorción formada por un epitelio.
  4. **Egestión** (o defecación): es la expulsión de las sustancias no absorbidas de los alimentos (heces).

## 2.1- LOS APARATOS DIGESTIVOS

En el reino animal se definen dos modelos distintos de aparatos digestivos:



1. **Cavidad gastrovascular**: ocupa el centro del organismo del animal y se comunica con el exterior a través de una única apertura que hace de boca y de ano. *Celentéreos y platelmintos.*



2. **Tubo digestivo**: con dos aperturas (boca y ano) que hacen que el flujo de los alimentos sea unidireccional y se haga así más efectiva la digestión. Por otra parte, las regiones de este tubo se especializan en cada una de las fases del proceso digestivo.

Tendencia evolutiva de los aparatos digestivos:

- Paso de cavidad gastrovascular a tubo digestivo.
- Paso de digestión intracelular a extracelular, pasando por la mixta.
- Regionalización del tubo digestivo en órganos especializados, incluyendo los trituradores encargados la digestión mecánica. Aparecen esfínteres que controlan el paso de los alimentos de uno a otro.
- Aparición de glándulas digestivas anejas que producen jugos digestivos con enzimas hidrolíticas que realizan la digestión química.
- Aumento de la superficie de absorción intestinal mediante la aparición de estructuras como vellosidades y ciegos.

Anatomía de los aparatos digestivos:

- Los **poríferos** son filtradores. El agua entra por los poros y sale por el ósculo. La digestión es intracelular y los realizan los **coanocitos** que tapizan el atrio.
- Los **celentéreos** poseen tentáculos urticantes con **cnidoblastos** y presentan digestión mixta en una **cavidad gastrovascular** con una sola apertura.

- Los **platelmintos** tienen un tubo digestivo muy ramificado, pero con una sola abertura (la boca). Su digestión es mixta. Algunos platelmintos parásitos del intestino como la tenia carecen de aparato digestivo ya que absorben los nutrientes directamente por la piel.
- En los **anélidos**, el tubo digestivo ya tiene dos aperturas: boca y ano. Además presenta partes especializadas (boca, faringe, esófago, buche, molleja, intestino y ano). La digestión ya es extracelular.
- Los **moluscos** tienen un tubo digestivo con glándulas anejas (salivares y hepatopáncreas). Los gasterópodos presentan una **rádula** raspadora y los cefalópodos un **pico córneo**.
- En los **crustáceos** hay un estómago de dos cámaras (el **saco cardíaco** masticador y el **saco pilórico** glandular).
- **Insectos**: con glándulas salivares y un **molinillo gástrico** (molleja trituradora). Hay una gran variedad de **aparatos bucales**, adaptados a cada tipo de alimentación: masticador, lamedor, chupador o picador.
- **Equinodermos**: tienen una boca ventral y un ano dorsal. Los erizos tienen un aparato masticador (la **linterna de Aristóteles**) y las estrellas de mar, un estómago con ciegos pilóricos que es eyectable, ya que realiza una digestión externa (estrellas de mar).
- **Vertebrados**: consta de un tubo digestivo con partes muy especializadas y glándulas anejas que vierten sus productos en él. Se compone de los siguientes órganos:

| <b>TUBO DIGESTIVO</b>   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Boca</b> (con pico, dientes y/o lengua)</li> <li>- <b>Faringe</b>: sección compartida con el aparato respiratorio que posee una membrana (<b>epiglotis</b>) que cierra la laringe durante la deglución.</li> <li>- <b>Esófago</b>: tubo musculoso (con una dilatación lateral, el <b>buche</b>, en aves).</li> <li>- <b>Estómago</b>: dilatación musculosa con glándulas gástricas. Puede ser monogástrico, digástrico (molleja trituradora y estómago glandular, en aves) o tetragástrico (panza, libro, redcilla y cuajar en rumiantes).</li> <li>- <b>Intestino medio o delgado</b>, dividido en varias partes: duodeno (con glándulas intestinales), yeyuno, ileon y ciegos intestinales (en herbívoros).</li> <li>- <b>Intestino terminal o grueso</b>, con tres tramos: ciego, colon y recto.</li> <li>- <b>Ano</b>: orificio que se abre al exterior sólo o reunido con los conductos excretor y reproductivo en la <b>cloaca</b> (aves, anfibios y reptiles).</li> <li>- A lo largo del tubo hay <b>esfínteres</b> que regulan el tránsito (cardias, píloro, válvula ileocecal y ano).</li> </ul> | <div style="text-align: center;"><b>masticación y digestión en la boca</b></div> <p>Diagrama anatómico del tubo digestivo humano con sus principales partes y glándulas anejas. Se muestran: boca, esófago, estómago, duodeno, hígado, vesícula biliar, páncreas, yeyuno, ileon, ciego, colon, recto y ano. Se indican procesos como el transporte esofágico, la digestión estomacal y la digestión y absorción de nutrientes.</p> |
| <b>GLÁNDULAS ANEJAS</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Salivares</b> (en los tetrápodos), producen saliva</li> <li>- <b>Hígado</b> (vesícula biliar), produce bilis</li> <li>- <b>Páncreas</b>, produce jugo pancreático.</li> </ul>   |  |

## 2.2 FISIOLÓGÍA DEL APARATO DIGESTIVO EN LOS VERTEBRADOS

### Digestión mecánica:

- En la **boca** se inicia la trituración de los alimentos mediante la **masticación**. En peces, anfibios y reptiles, los **dientes** sirven para atrapar y desgarrar el alimento. Es en los mamíferos donde se encuentra una dentición más especializada, existiendo dientes para cortar (**incisivos**), para desgarrar (**caninos**) y para triturar (**premolares** y **molares**). La presencia y el desarrollo de estos dientes depende del tipo de alimentación del animal. La **lengua** musculosa y móvil de los tetrápodos ayuda a la masticación e insalivación del alimento, aunque en anfibios y algunos reptiles sirve para capturar las presas. Además, en él está instalado el sentido del gusto.
- Una vez formado el bolo alimenticio en la boca, éste pasa por la **faringe** hacia el esófago mediante la **deglución** (el acto de tragar). Durante este proceso, la epiglotis obstruye el orificio por el que entra el aire hacia la laringe (*glotis*) para impedir la entrada del alimento.
- En el **esófago**, el bolo avanza hacia el estómago gracias a los **movimientos peristálticos**, generados por una contracción a modo de ondas de la musculatura lisa de la pared de este órgano. En el buche de las aves se almacena y humedece el alimento.
- En el **estómago**, sus paredes musculosas se contraen de forma rítmica para mezclar el alimento con los jugos gástricos y favorecer, además de su trituración, su acción química. La papilla resultante, el **quimo**, pasa al duodeno a través de un esfínter, que es el **píloro**. En las aves, al tener un estómago digástrico, la trituración de los alimentos que no pueden hacer en la boca (pues carecen de dientes), la realizan en la **molleja**. Ésta posee unas gruesas paredes musculosas que, al contraerse, Trituran el alimento, ayudadas por las pequeñas piedrecillas que ingieren.
- En el **intestino**, el **quilo** (papilla resultante de la digestión química en el duodeno) avanza mediante movimientos peristálticos.

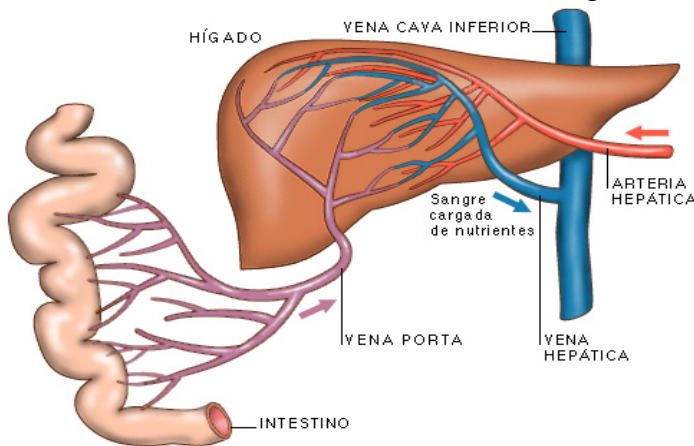
Digestión química: consiste en la descomposición los alimentos mediante los **jugos digestivos**, que contienen enzimas hidrolíticas que liberan los monómeros componentes de las biomoléculas. Estas enzimas actúan de forma específica sobre cada una de ellas:

| Jugo Digestivo   | Composición            | Lugar donde actúa | GLÚCIDOS                       | LÍPIDOS                        | PROTEÍNAS                                     | ÁCIDOS NUCLEICOS |
|------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|------------------|
| Saliva           | Con mucina y lisozima. | Boca              | Amilasa                        |                                |   |                  |
| Jugo gástrico    | Con HCl y mucina.      | Estómago          |                                |                                | Pepsina                                       |                  |
| Bilis            | Sales biliares         | Duodeno           |                                | <i>Emulsionante de grasas.</i> |   |                  |
| Jugo pancreático | Con $\text{HCO}_3^-$   |                   | Amilasa                        | Lipasa                         | Tripsina<br>Quimotripsina<br>Carboxipeptidasa | Nucleasas        |
| Jugo intestinal  | Con mucina.            |                   | Maltasa<br>Sacarasa<br>Lactasa | Lipasa                         | Aminopeptidasas                               |                  |

La absorción de nutrientes se realiza a través del epitelio intestinal. Los nutrientes atraviesan el citoplasma de las células epiteliales, entrando por la membrana que da al interior del intestino y saliendo por la membrana del lado opuesto, hacia los capilares sanguíneos. La absorción se realiza de forma diferencial:

- **Intestino delgado:** se absorben las moléculas sencillas presentes en el quimo como monosacáridos, ácidos grasos y glicerina, aminoácidos y nucleótidos. La superficie de absorción se incrementa a tres niveles: orgánico, mediante un aumento de longitud, tisular, mediante las vellosidades intestinales y celular, a través de las microvellosidades (plegamientos de la membrana plasmática). Los peces y mamíferos herbívoros aumentan su superficie de absorción mediante tubos sin salida llamados ciegos intestinales.
- **Intestino grueso:** se absorbe agua y algunos iones (por transporte activo), además sustancias sintetizadas y liberadas por bacterias de la flora microbiana (como algunos aminoácidos o la vitamina B<sub>12</sub>). Conforme se realiza esta absorción, el resto de las sustancias residuales no absorbidas se espesan y se transforman en las heces que se acumulan en el recto para su egestión a través de los esfínteres anales (defecación).

Paso de los nutrientes al torrente sanguíneo:



- El **agua, sales minerales, monosacáridos, aminoácidos y vitaminas hidrosolubles** pasan a la red capilar que desemboca en la vena porta. De ahí pasan al hígado, que los almacena primero y distribuye después a través de la vena hepática, la vena cava y el corazón.
- Los **ácidos grasos** y la **glicerina** se combinan formando acilglicéridos, que a su vez se rodean de proteínas, formando unas lipoproteínas que son los **quilomicrones**. Éstos pasan por capilares linfáticos.

Estos pasan por capilares linfáticos al sistema linfático intestinal, que desemboca en la vena subclavia izquierda que va al corazón. Esta es la ruta que también siguen el **colesterol** y las **vitaminas liposolubles**.

Papel del hígado:

- **Reserva y distribuye las moléculas energéticas.** El exceso de glucosa (durante la digestión) se almacena en forma de glucógeno (hepático y muscular), o se transforma en grasas (que se depositan en el tejido adiposo). Durante un esfuerzo, el glucógeno (primero muscular y después hepático) se degrada por lo que libera la glucosa que va a ser metabolizada. De este modo se regula la glucemia (mediada por hormonas).
- **Almacena** aminoácidos (a través de unas proteínas: las albúminas), vitaminas liposolubles y también hierro.
- **Sintetiza proteínas** como factores de coagulación y proteínas plasmáticas (las seroalbúminas, que evitan el encharcamiento de los tejidos, dado que originan un plasma hipertónico).
- **Almacena y distribuye el colesterol.** También sintetiza derivados del colesterol como la **bilis** (una forma muy limitada de eliminarlo) y las hormonas **esteroideas**.
- **Degrada fármacos y sustancias tóxicas** (toxinas, drogas y alcohol).

### 3- LA RESPIRACIÓN EN LOS ANIMALES

En primer lugar, hay que aclarar que el término respiración se aplica a dos procesos biológicos distintos:

1. La **respiración celular**, que es la obtención de energía por la combustión catabólica de nutrientes energéticos en las mitocondrias. Como es un proceso aerobio, las células necesitan disponer de oxígeno.
2. La **respiración externa**, consistente en la transferencia del oxígeno necesario al líquido de transporte para que lo distribuya a las células, así como la recogida y expulsión del CO<sub>2</sub> producido en el proceso anterior.

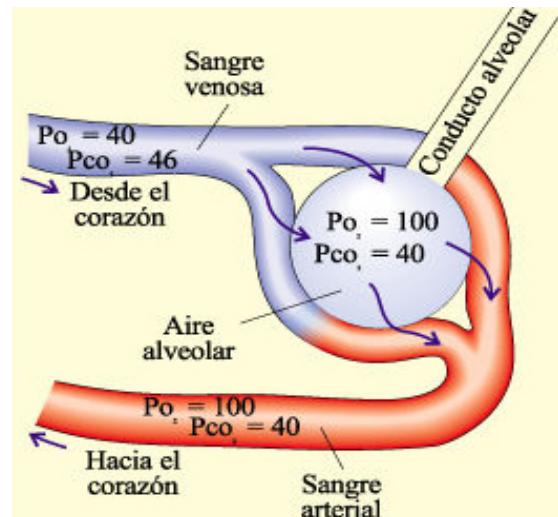
La **difusión** es el proceso físico mediante el cual gases como el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> atraviesan las membranas biológicas de forma pasiva (sin gasto de energía), siempre que sea a favor de un gradiente de concentración. Los organismos más sencillos presentan una **difusión simple** en que los gases se intercambian de célula en célula, y de éstas con el medio. Es el caso de los poríferos, los celentéreos, los platelmintos y los nemátodos.

El resto de los animales necesitan un conjunto de estructuras que permita el suministro de O<sub>2</sub> a las células, por lo que presentan un **aparato respiratorio** que realiza las siguientes funciones:

- La **ventilación**: paso del O<sub>2</sub> del medio externo (aire, agua) al interior del aparato respiratorio.
- El **intercambio de gases**: paso por **difusión** del O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> del interior del aparato respiratorio al fluido circulatorio.

El intercambio de gases se realiza a través de un epitelio formado por una sola capa de células, la **superficie respiratoria**, que ha de tener las siguientes características:

- **Fina**, para facilitar el paso de los gases.
- **Extensa**, a modo de láminas para aumentar la superficie de difusión.
- **Permanentemente húmeda**, dado que el agua favorece la difusión.
- **Muy vascularizada**, ya que así los fluidos transportadores mantienen el gradiente de concentración que permite la difusión.



#### 3.1 RESPIRACIÓN CUTÁNEA

Es la que realiza a través de la **piel**, que ha de ser muy fina, humedecida por glándulas secretoras de mucus y con la dermis muy vascularizada. Está presente en animales de reducido tamaño que viven en ambientes acuáticos o muy húmedos, como anélidos terrestres, anfibios y algunos moluscos.

#### 3.2 RESPIRACIÓN TRAQUEAL

Las tráqueas son invaginaciones tubulares (**tubos traqueales**) que se ramifican en **traqueolas** (o capilares aéreos) y se abren al exterior por los **espiráculos** o estigmas

(cerrados por válvulas para evitar su desecación). Estas estructuras las presentan los artrópodos terrestres, a excepción de las arañas, que presentan **pulmones en libro**.

Mediante una ventilación realizada por la contracción rítmica del abdomen, el aire entra en las traqueolas hasta llegar a la superficie respiratoria ubicada en el fondo de estos conductos y en contacto directo con los tejidos. Por tanto, no es necesario que el fluido circulatorio transporte el O<sub>2</sub>, dado que las propias tráqueas lo llevan directamente a las células.

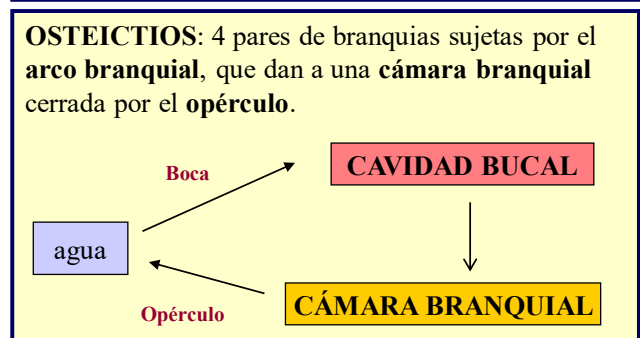
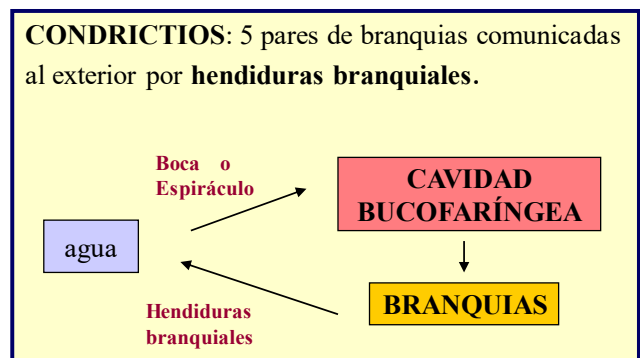
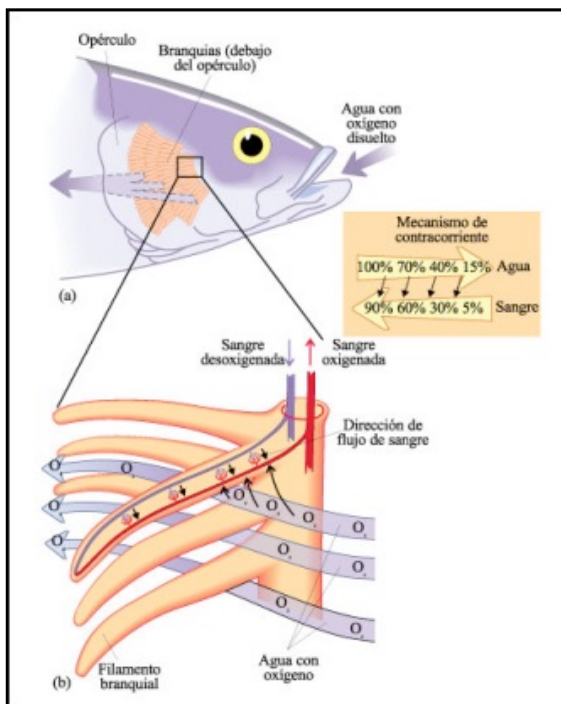
### 3.3 RESPIRACIÓN BRANQUIAL

Las **branquias** son estructuras filiformes o arborescentes formadas por la asociación de gran cantidad de expansiones laminares de la faringe. Esta disposición incrementa mucho la superficie respiratoria, lo cual es muy necesario, junto con la gran vascularización de estos órganos, para captar la escasa cantidad de O<sub>2</sub> disuelto en el agua (20 veces menor que en el aire). Según su situación, existen dos tipos de branquias:

- **Externas:** se ramifican hacia el exterior. Están presentes en organismos que ventilan por movimiento como anélidos marinos, equinodermos, larvas de anfibios y larvas acuáticas de insecto.
- **Internas:** se encuentran protegidas dentro de una cavidad comunicada con el exterior, lo que hace necesario un sistema de ventilación. Los poseen gran parte de moluscos (situados en la cavidad paleal y ventilados por los sifones), crustáceos (presentes en la cámara branquial a cada lado del tórax) y peces.

Respiración branquial en peces: La superficie de intercambio se incrementa por la elevada cantidad de filamentos que presentan además un alto número de expansiones llamadas lamelas. Por otra parte, la eficiencia aumenta con el mecanismo del **intercambio a contracorriente**, consistente en un flujo del agua en dirección contraria a la de la circulación de la sangre, de tal modo que ésta va a encontrar siempre concentraciones crecientes de O<sub>2</sub> en el medio.

La ventilación varía entre los dos grupos más importantes de peces:





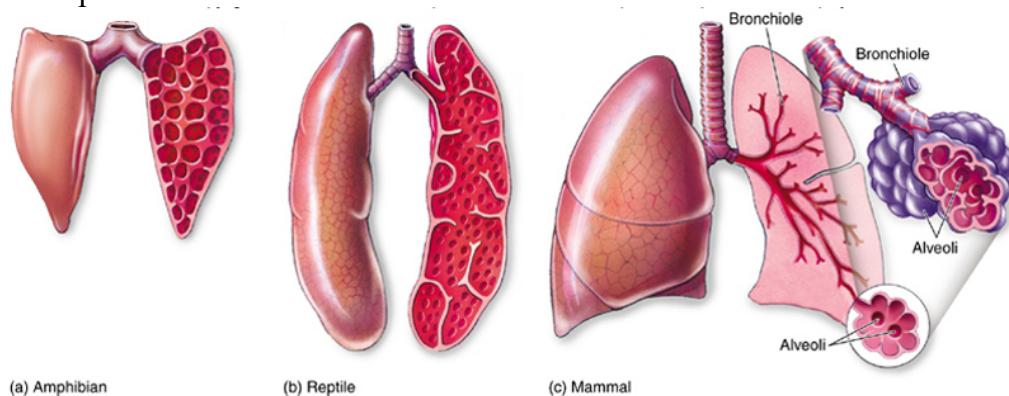
### 3.4 RESPIRACIÓN PULMONAR

Los pulmones son cavidades internas muy vascularizadas formadas por expansiones hacia el interior de la faringe. Se trata de un sistema muy eficaz en medios terrestres. Se definen dos tipos:

- **Pulmones de difusión**, sin ventilación y permanentemente abiertos. Son propios de invertebrados como gasterópodos terrestres (poseen una cavidad paleal muy vascularizada) y arañas (tienen pulmones en libro que constan de una veintena de láminas horizontales).
- **Pulmones de ventilación activa** por movimientos respiratorios (inspiración y espiración). Se encuentran en peces pulmonados y vertebrados terrestres.

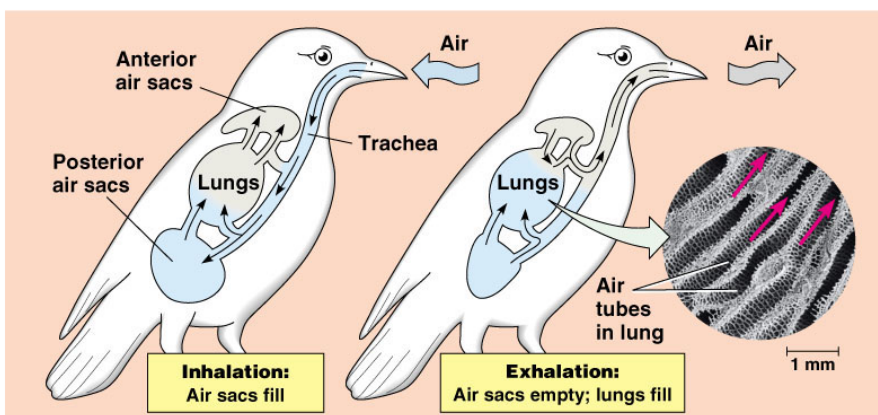
#### Tendencias evolutivas en pulmones de vertebrados:

- Aumento de la superficie pulmonar mediante su compartimentalización.
- Mejora de los sistemas de ventilación al pasar de los activos (se traga el aire) a los pasivos (se aspira el aire debido al cambio de volumen de la caja torácica por acción de los músculos respiratorios).
- Aparición de la circulación pulmonar, mediante circuitos sanguíneos dobles y completos.



Los **anfibios** tienen dos pulmones casi lisos que se combinan con la respiración cutánea. La ventilación se produce por presión positiva, dado que el aire entra en los pulmones a través de los orificios nasales, mediante deglución o por movimientos bucales al bajar la lengua.

El aparato respiratorio de las **aves** consta de fosas nasales, faringe, tráquea, siringe (órgano del canto), dos bronquios, dos pulmones y cinco pares de sacos aéreos. La ventilación se realiza por presión negativa debido a la acción de músculos respiratorios y tienen un muy eficaz ciclo ventilatorio doble y unidireccional.



1ª Inspiración:  
Exterior → sacos posteriores

1ª Espiración:  
Sacos posteriores → pulmones

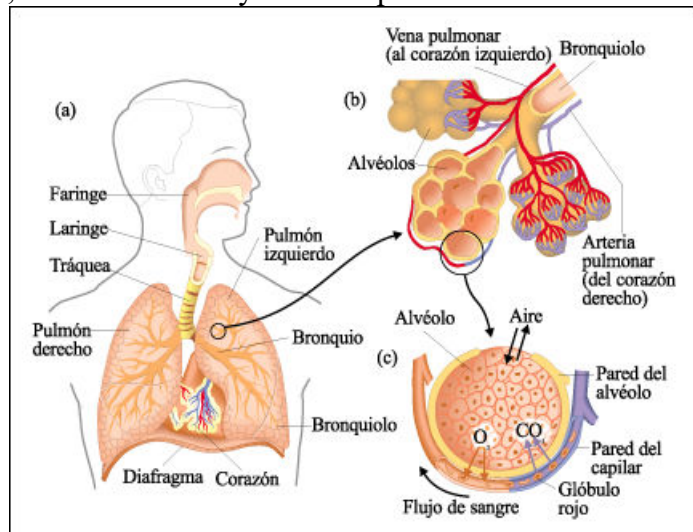
2ª Inspiración:  
Pulmones → sacos anteriores

2ª Espiración:  
Sacos anteriores → exterior

El Aparato respiratorio de **mamíferos** consta de las vías respiratorias (fosas nasales, faringe, laringe, tráquea y dos bronquios) y de dos pulmones, dentro de los cuales las vías respiratorias se ramifican en bronquiolos, sacos alveolares y alvéolos pulmonares.

La ventilación se realiza por presión negativa y es bidireccional:

1. Inspiración: la contracción de los **músculos respiratorios** (diafragma e intercostales) aumenta el volumen pulmonar, por lo que se genera una presión negativa que hace entrar el aire.
2. Espiración: los músculos respiratorios se relajan, lo que provoca la disminución del volumen pulmonar y la salida del aire.



#### 4- LA CIRCULACIÓN EN LOS ANIMALES

En los organismos animales más sencillos (poríferos, celentéreos, platelmintos y nemátodos) el transporte de los nutrientes y los gases se realiza a través del líquido intersticial presente entre las células de los tejidos. Sin embargo, conforme aumenta el tamaño y la complejidad del organismo, surge la necesidad de un **aparato circulatorio** que transporte las sustancias que las células necesiten en su metabolismo. Por tanto, las funciones que desempeña este sistema de transporte serían las siguientes:

1. Distribuir hacia todos los tejidos los nutrientes desde los lugares de absorción o de almacenamiento y los gases desde la superficie de intercambio gaseoso.
2. Recoger las sustancias de desecho catabólico hacia los órganos excretores.
3. Transportar las células y las moléculas encargadas de la defensa del organismo ante infecciones.
4. Contribuir a la homeostasis (regulación del pH, de la concentración de iones y la temperatura interna).

Componentes del aparato circulatorio:

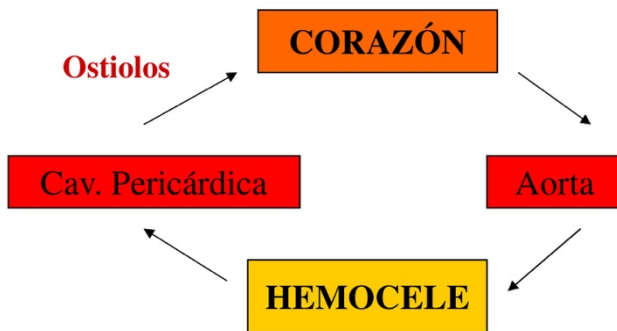
1. Un **fluido circulatorio** que contenga las sustancias a transportar (nutrientes, gases, desechos, hormonas y anticuerpos). Existen en el reino animal cuatro diferentes (hidrolinfa, hemolinfa, sangre y linfa) y constan de un plasma con células que flotan en él. En bastantes casos, dada la limitada solubilidad del O<sub>2</sub> en el plasma, el fluido posee un pigmento respiratorio que se une este gas, lo que hace que se incremente su transporte.

| LÍQUIDO           | PIGMENTO     | COLOR (unido al O <sub>2</sub> ) | ANIMALES                           |
|-------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Hemolinfa</b>  | Hemocianina  | Azul-violeta                     | Moluscos y artrópodos              |
| <b>Sangre</b>     | Hemoglobina  | Rojo                             | Vertebrados, anélidos y nemátodos. |
|                   | Hemeritrina  | Rojo-violeta                     | Algunos anélidos                   |
|                   | Cloroclorina | Verde                            | Muchos anélidos                    |
| <b>Linfa</b>      | ----         | ----                             | Vertebrados                        |
| <b>Hidrolinfa</b> | ----         | ----                             | Equinodermos                       |

2. Uno o varios órganos de bombeo (el **corazón**) de paredes musculosas y con válvulas que impidan el retroceso. Puede ser tubular o tabicado.
3. Una red **conductos o vasos** por donde circula el fluido circulatorio.

#### 4.1 TIPOS DE APARATOS CIRCULATORIOS

- 1- **Abiertos**: son aquellos en que el fluido circulatorio sale de los vasos sanguíneos y se vierte en cavidades internas. El flujo muy lento y el fluido circulatorio (hemolinfa) ejerce una baja presión. Son propios de artrópodos, gasterópodos y bivalvos.



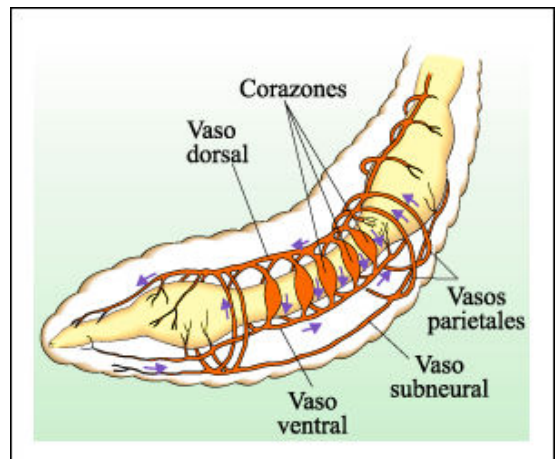
La hemolinfa impulsada por el corazón (tubular en insectos y globoso en moluscos) se dirige por la arteria aorta, del que salen vasos sanguíneos que descargan el fluido en una cavidad general del cuerpo llamada **hemocele**, en donde se sitúan los órganos y tejidos que toman los nutrientes. En insectos, la hemolinfa es recogida por la **cavidad pericárdica** y entra

en el corazón al relajarse por unos orificios llamados **ostiolo**. En moluscos, la sangre es llevada de la cavidad al corazón por un sistema de venas.

- 2- **Cerrados**: los fluidos circulatorios no salen de los vasos, por lo que éstos los llevan a órganos concretos. Son sistemas más eficientes, puesto que los fluidos circulan a mayor velocidad, ya que se pierde menos presión de bombeo del corazón al no salir de los vasos. Están presentes en anélidos, cefalópodos y vertebrados. Los equinodermos aprovechan la hidrolinfa del aparato ambulacral para realizar funciones transportadoras.

En anélidos el aparato circulatorio consta de dos vasos longitudinales: uno ventral, que lleva la sangre del extremo anterior al posterior, y otro dorsal, que la conduce en sentido contrario. Ambos vasos están intercomunicados por vasos transversales. Las más anteriores (**arcos aórticos**) tienen la pared contráctil engrosada y con válvulas, por lo que hacen de corazón.

Los cefalópodos, por su parte, poseen un corazón de tres cámaras que bombea la hemolinfa hacia las branquias, en donde unos corazones branquiales reimpulsan el fluido hacia el resto del organismo.



#### Aparato circulatorio en vertebrados:

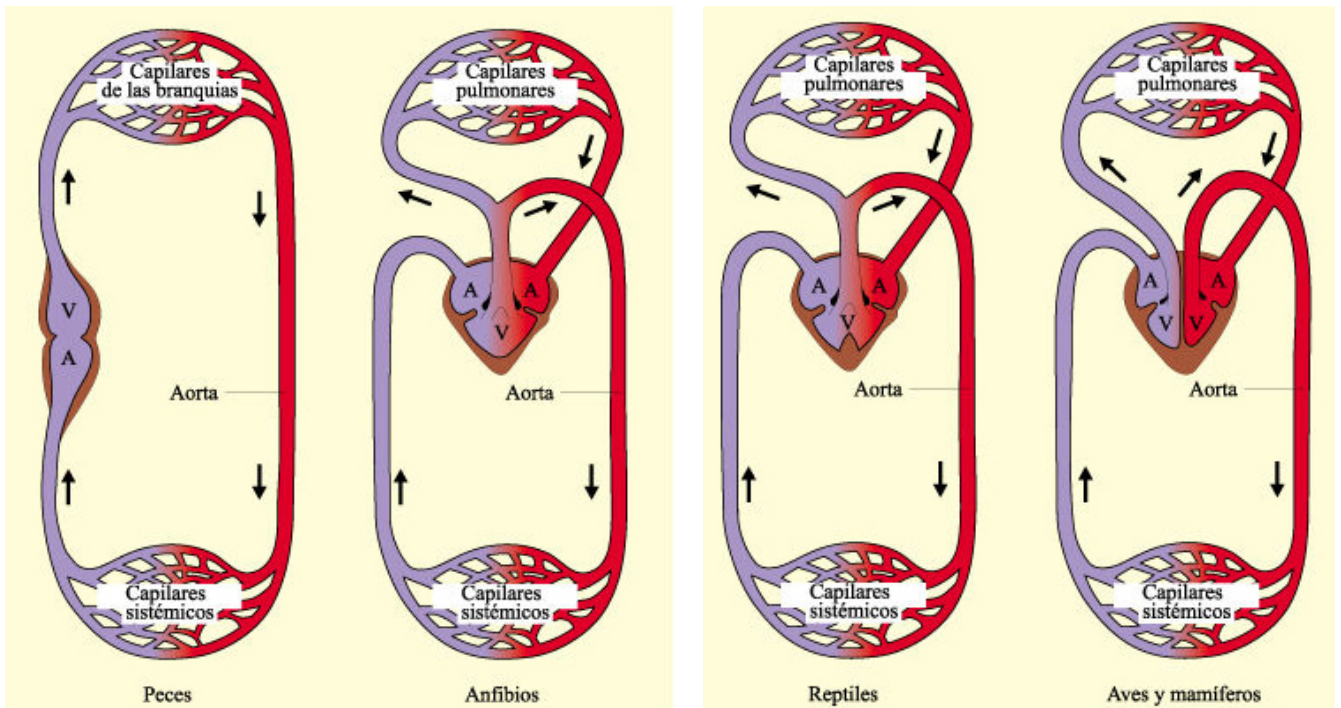
Es un aparato circulatorio cerrado y presenta un corazón tabicado, cuyo número de cavidades (aurículas y ventrículos) es variable. Existen dos tipos, en función del número de circuitos que presenten:

- 1- **Simple**: es el que existe en los peces. Presenta un sólo circuito, por lo que la sangre pasa una vez por el corazón. Éste tiene dos cámaras: una aurícula y un ventrículo. La arteria aorta lleva la sangre a las branquias, donde es oxigenada, y de allí se distribuye por todo el organismo hasta volver al corazón a través del seno venoso.

- 2- **Doble:** es el que está presente en los vertebrados terrestres. Tiene dos circuitos, por lo que la sangre pasa dos veces por el corazón. En la **circulación menor o pulmonar**, la sangre sale del corazón hacia los pulmones (por la arteria pulmonar), en donde se oxigena, y vuelve de nuevo (por las venas pulmonares) al corazón donde es impulsada por la arteria aorta hacia la **circulación mayor o general**, que se encarga de llevarla a los tejidos. Las venas cava recogen la sangre para llevarla de vuelta al corazón.

En virtud de la presencia o ausencia de mezcla de ambos circuitos (sangre oxigenada y sangre pobre en oxígeno), se definen dos tipos de circulación doble:

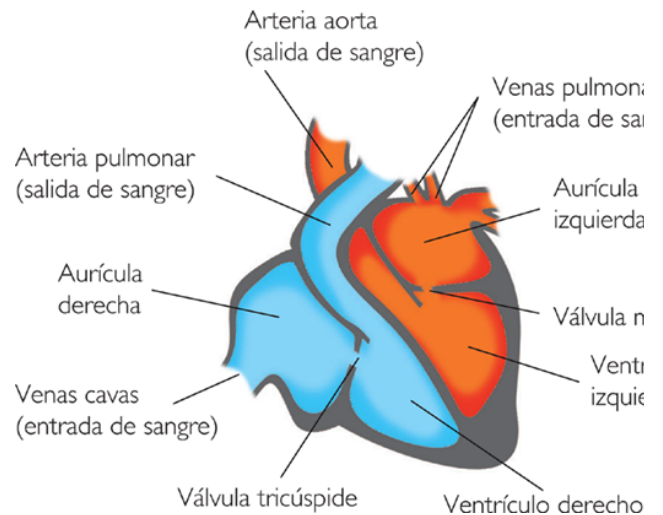
- **Incompleta:** hay mezcla de sangre, pues el corazón es de tres (en anfibios) o de cuatro cámaras, pero con tabicación incompleta (en reptiles no crocodylios).
- **Completa:** no hay mezcla de sangres, dado que el corazón de cuatro cámaras tiene una tabicación completa. Presente en crocodylios, aves y mamíferos



#### 4.2 LA FISIOLÓGÍA DEL APARATO CIRCULATORIO EN MAMÍFEROS

El corazón es el órgano de bombeo de la sangre y está formado por los siguientes tejidos:

1. El **pericardio** (tejido conjuntivo) es la envoltura externa que forma la cavidad pericárdica (rellena de líquido).
2. **Miocardio** (tejido muscular): responsable de la contracción rápida e involuntaria. Se encuentra irrigado por las arterias y venas coronarias.
3. **Endocardio** (tejido epitelial) endotelio que tapiza las cámaras cardíacas.



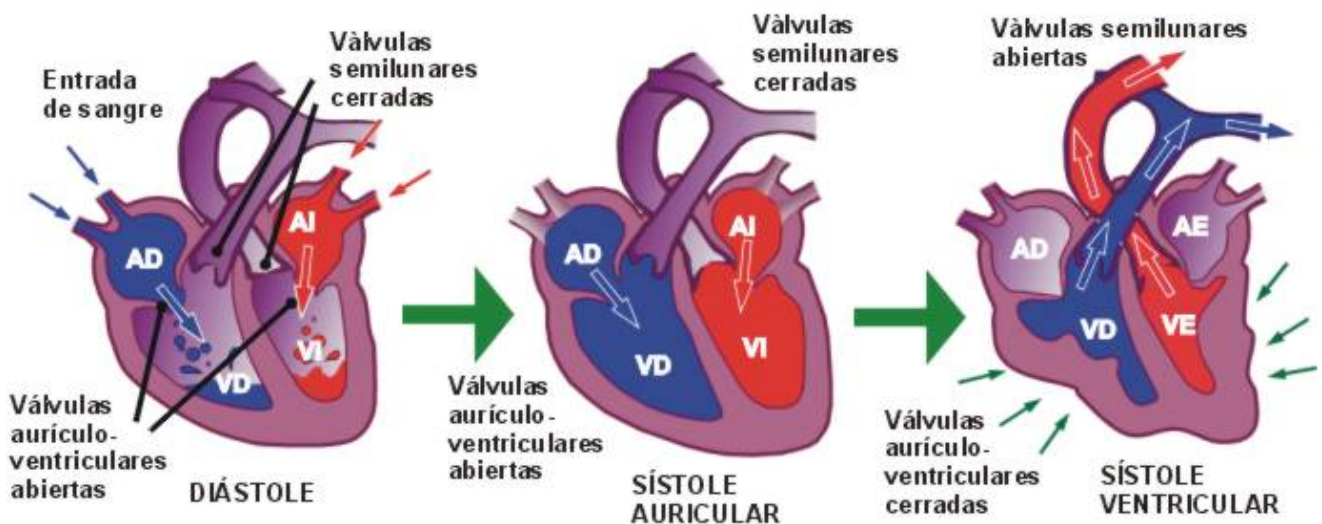
Las **cámaras cardiacas** son las cavidades por los que discurre la sangre en su recorrido en el corazón. Se distinguen estos dos tipos:

1. **Aurículas** (dos): reciben sangre de las venas (cava en la aurícula derecha y pulmonares en la aurícula izquierda)
2. **Ventrículos** (dos): bombean sangre a las arterias (pulmonar el ventrículo derecho y aorta el ventrículo izquierdo)

Las **válvulas cardiacas** son las estructuras que aseguran que la sangre vaya en una dirección, impidiendo su retroceso, lo que optimiza el funcionamiento del corazón. Se definen cuatro que son las siguientes:

1. **Tricúspide**, presente entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.
2. **Mitral**, entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo.
3. **Semilunares** o sigmoideas: son dos válvulas que se encuentran entre los ventrículos y las arterias.

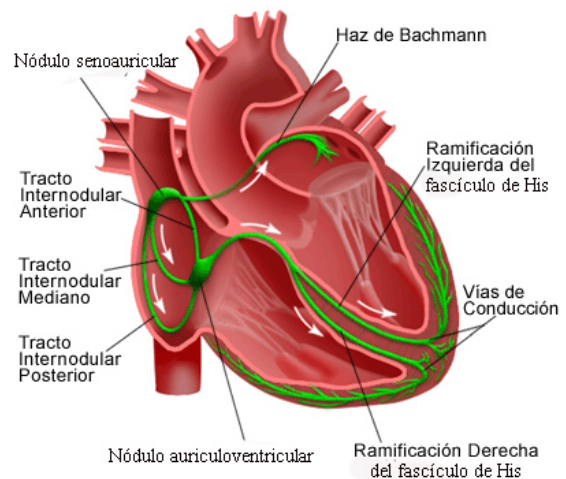
El **ciclo cardiaco** es la secuencia de procesos que ocurren en el corazón para que se produzca un latido completo. Los movimientos cardiacos se producen por la contracción del miocardio, que es alternativa y antagónica entre aurículas y ventrículos. A la contracción se le llama **sístole**, mientras que la relajación pasa a denominarse **diástole**.



Etapas del ciclo cardiaco:

1. **Diástole auricular:** las aurículas se relajan y reciben la sangre de las venas. Las válvulas permanecen cerradas.
2. **Sístole auricular y diástole ventricular:** la aurícula reduce su volumen, por lo que se abren las válvulas tricúspide y mitral. La sangre impulsada se dirige al ventrículo, que se va llenando en todo su volumen al estar relajado.
3. **Sístole ventricular:** se reduce el volumen del ventrículo por lo que la sangre es impulsada hacia las arterias, dado que las válvulas semilunares están abiertas. El cierre de las válvulas aurículoventriculares impide el retroceso de la sangre a las aurículas. Éstas ya están en diástole para recibir la remesa de sangre correspondiente al siguiente latido.

El miocardio tiene la particularidad de no necesitar el impulso nervioso de un nervio motor para contraerse. En concreto, el latido cardiaco se forma en el **nódulo senoauricular**, un grupo de fibras musculares cardiacas de la aurícula derecha que hace de marcapasos. El impulso generado allí se propaga por las paredes de las aurículas, generando la sístole auricular. En el **nódulo auriculoventricular** el latido se retiene una décima de segundo antes de dirigirse al **fascículo de His** que transmite el impuso a las paredes de los ventrículos e iniciándose la sístole ventricular.

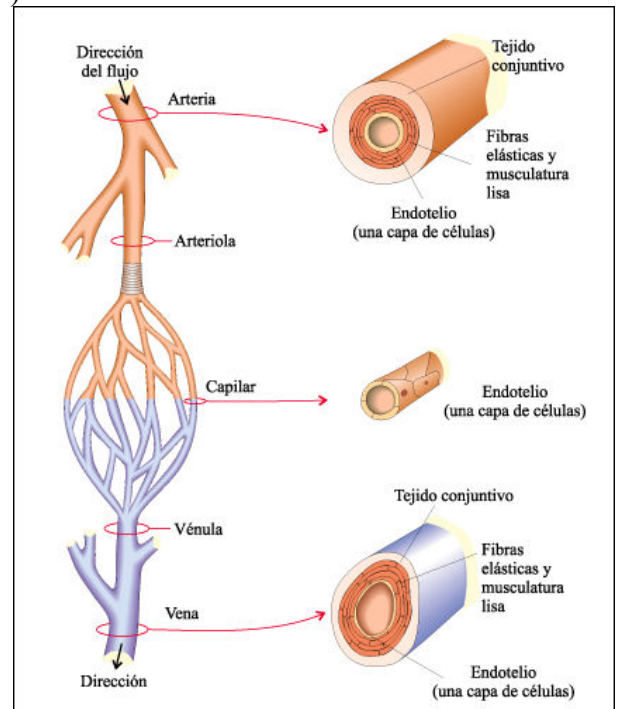


Como se puede ver, el corazón es autónomo en el caso de que la frecuencia cardiaca sea normal, puesto que las fibras del miocardio son capaces de transmitir los impulsos eléctricos que ellas mismas generan. El sistema nervioso central, a través del sistema nervioso autónomo, modula esta frecuencia cardiaca (en las bradicardias o bajas frecuencias y en las taquicardias o altas frecuencias)

Los vasos sanguíneos:

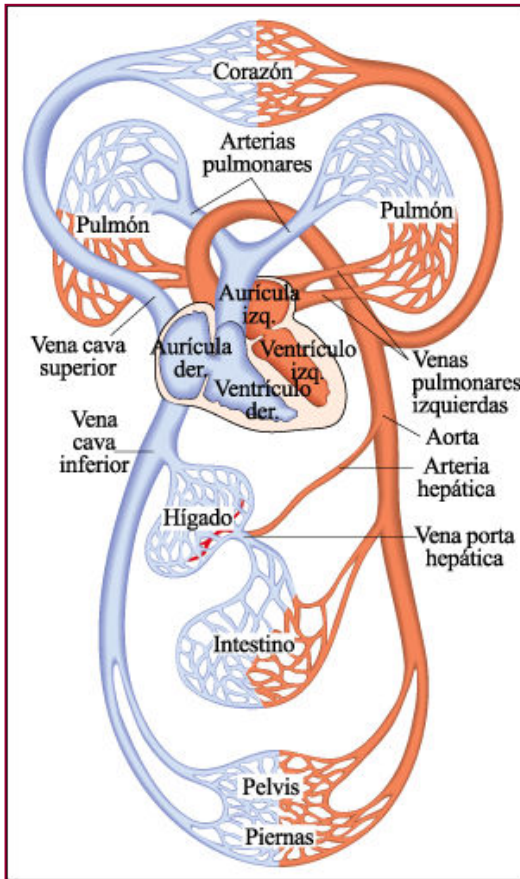
Están formados por tres capas llamadas tunicas: la **íntima** (formada por endotelio), la **media** (constituida por tejido muscular liso) y la **adventicia** (con tejido conjuntivo fibroso). Existen tres tipos de vasos:

1. **Arterias:** llevan la sangre del corazón a los tejidos.
2. **Capilares:** son vasos finos que se distribuyen en órganos y tejidos. Formados por endotelio solamente, a través del cual difunden gases, nutrientes y sustancias de desecho
3. **Venas:** llevan la sangre de los tejidos al corazón. Tienen **válvulas semilunares** para evitar el retroceso sanguíneo.



En los mamíferos (así como en reptiles y aves), la circulación de la sangre por los vasos es doble, dado que existen dos circuitos:

- En la **circulación menor o pulmonar**, la sangre es impulsada por el ventrículo derecho hacia la arteria pulmonar. En los pulmones se produce el intercambio de gases y la sangre oxigenada es llevada por las venas pulmonares (4) a la aurícula izquierda.
- La **Circulación mayor o sistémica** comienza con la sangre impulsada por el potente ventrículo izquierdo hacia los tejidos por la arteria aorta. Allí se produce el intercambio gaseoso inverso al de los pulmones. El sistema venoso recoge la sangre para ser llevada por las venas cava (2) a la aurícula derecha.



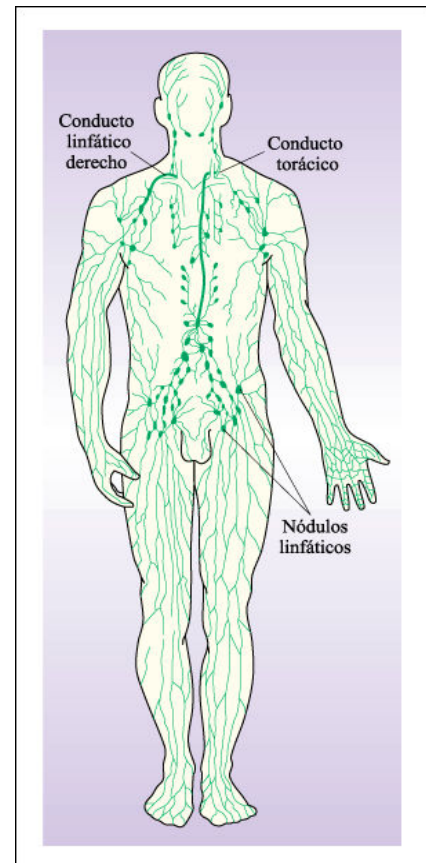
Diferencias entre los dos circuitos:

| Circuito             | Pulmonar        | General        |
|----------------------|-----------------|----------------|
| Recorrido            | Corto           | Largo          |
| Sangre arterial      | Desoxigenada    | Oxigenada      |
| Sangre venosa        | Oxigenada       | Desoxigenada   |
| Intercambio de gases | En los pulmones | En los tejidos |

El sistema linfático:

En la mayoría de los vertebrados existe este sistema de retorno del líquido intersticial paralelo al venoso. Está formado por capilares **linfáticos**, que se juntan en **vasos linfáticos** y que a su vez desembocan en las venas cava. Estos vasos poseen unos engrosamientos llamados **ganglios linfáticos**, que tienen un importante papel en el desarrollo de la respuesta inmune. Para facilitar la circulación existen corazones linfáticos accesorios o válvulas en los vasos linfáticos (como pasa en mamíferos). Las funciones del sistema linfático son los siguientes:

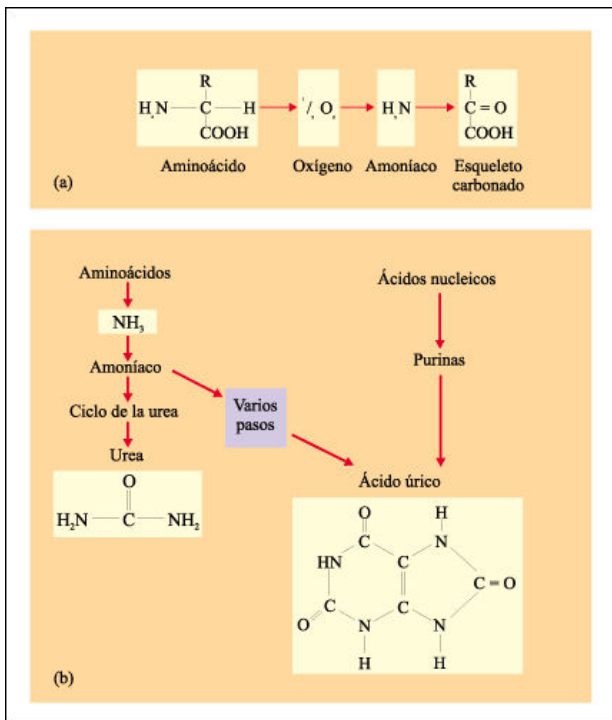
- Recoger el líquido intersticial para así formar la **linfa**, un fluido de composición parecida a la sangre, sin eritrocitos ni plaquetas, aunque con muchos leucocitos.
- Recoger y transportar las grasas absorbidas del quilo en el intestino delgado.
- Realizar la maduración de los linfocitos T (concretamente en el timo).
- Activar los linfocitos B y T ante una infección.
- Almacenar macrófagos.



## 5- LA EXCRECIÓN EN ANIMALES

La actividad catabólica de las células genera productos de desecho que, o bien son inútiles, o bien son tóxicos cuando su concentración aumenta. Por esta razón son eliminados hacia el medio externo o al fluido respiratorio. Estos productos son los siguientes:

1. **Productos no nitrogenados** como el **agua**, **CO<sub>2</sub>** (procedente del catabolismo de glúcidos y lípidos) y **sales minerales** (si están en exceso). Se expulsan a través de estructuras respiratorias (piel, branquias, pulmones) u otras especializadas (glándulas sudoríparas, aparato digestivo).
2. **Derivados nitrogenados** procedentes del catabolismo de las proteínas y los ácidos nucleicos. El nitrógeno se elimina en tres formas distintas:



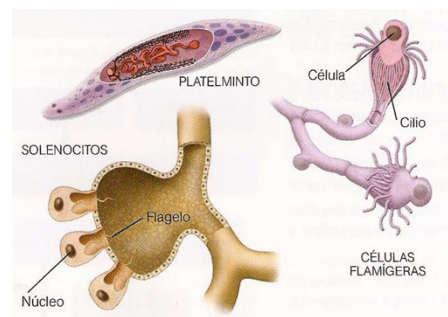
- **Amoniaco**: compuesto muy tóxico pero soluble en agua. Se elimina de forma directa diluyéndolo en mucha agua. Por ello, los animales que eliminan amoniaco (**amoniotélicos**) son animales acuáticos (invertebrados, osteíctios y larvas de anfibios).
- **Urea**, componente menos tóxico y todavía soluble en agua. Se elimina en un líquido acuoso que es la **orina**. Los animales **ureotélicos** son los condriictios, los anfibios, las tortugas y los mamíferos.
- **Ácido úrico**: es sólido pastoso blanco que se expulsa junto con las heces. Como es poco tóxico e insoluble en agua, se puede acumular sin causar graves daños al animal y supone un gran ahorro de agua. Los organismos **uricotélicos** son terrestres y ovíparos como los insectos, los reptiles, las aves y los gasterópodos terrestres.

### 5.1 LOS APARATOS EXCRETORES

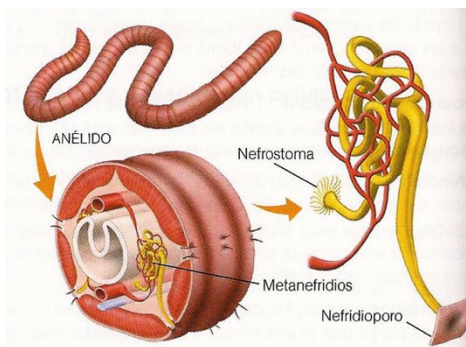
Sólo los animales más sencillos (esponjas, celentéreos y equinodermos) difunden directamente los productos de desecho al medio externo. El resto de los animales precisan de un **aparato excretor** que permite la eliminación de productos de desecho metabólico que han sido expulsados por los tejidos al medio interno o al fluido circulatorio. Además, el aparato excretor contribuye al mantenimiento de la **homeostasis** (regulación de la composición del líquido extracelular).

#### Aparatos excretores en animales:

1. Los **protonefridios** (platelmintos) son tubos muy ramificados que acaban en una célula flamígera. Ésta capta las sustancias de desecho mediante el movimiento de sus cilios y por los túbulos van hacia el poro exterior.

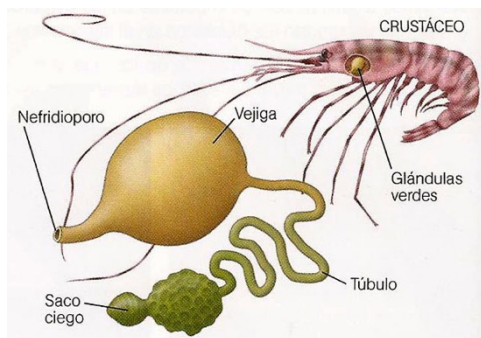
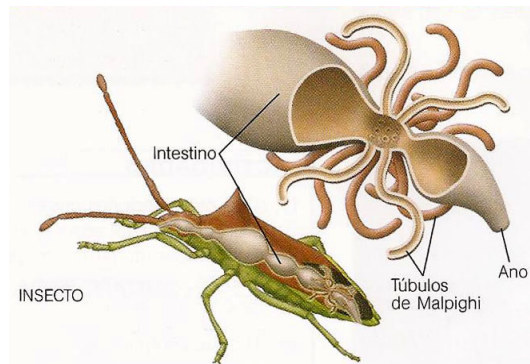






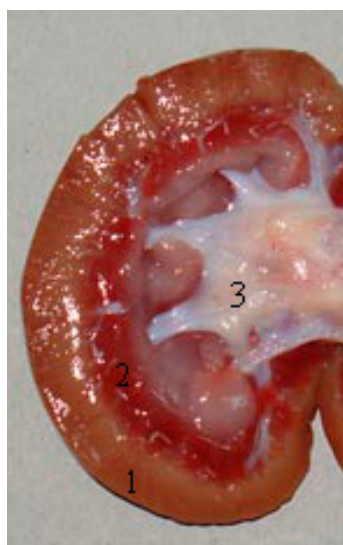
2. **Metanefridios** (anélidos y moluscos). Son tubos simples (dos por anillo) que se abren por los dos extremos: el **nefrostoma**, que filtra los productos de desecho del celoma, y el **nefridioporo**, que los expulsa al medio externo. Los productos útiles se reabsorben en el interior del túbulo.

3. **Tubos de Malpighi** (insectos). Constan de tubos cerrados por un extremo y abiertos al intestino por el otro. Captan los desechos del hemocele, que se expulsan junto con las heces. Los productos útiles se reabsorben en el propio intestino.

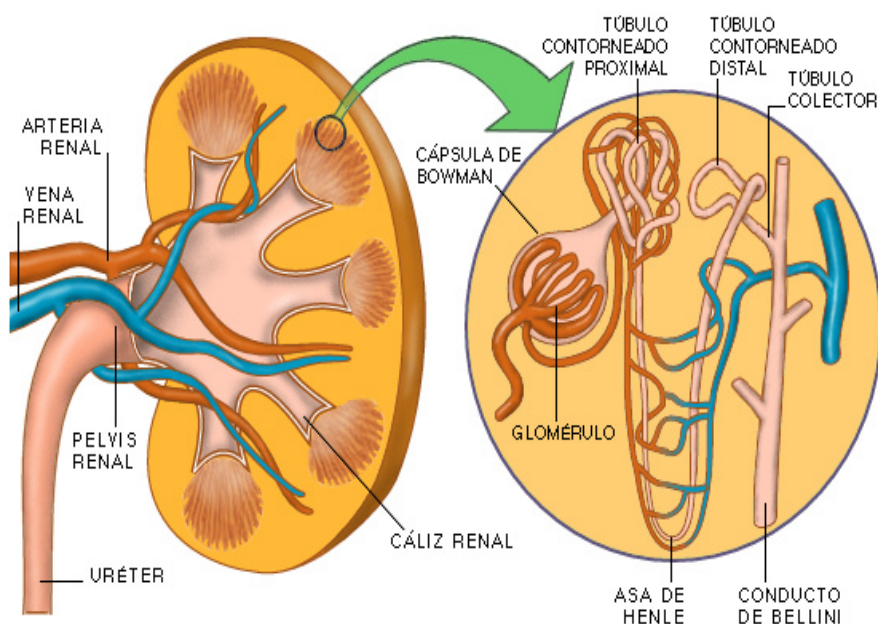


4. **Glándulas verdes o antenales** (crustáceos). Están formadas por la cámara glandular verdosa (que recoge las sustancias de desecho), un tubo excretor, la vejiga y un poro excretor, situado en la base de las antenas, por donde se expulsan.

5. Los **riñones** de los vertebrados producen la **orina**, expulsada al exterior por las **vías urinarias** (uréteres, vejiga urinaria y uretra). Estos órganos tienen tres partes: corteza, médula y pelvis renales. La estructura básica del riñón es la **nefrona**, que posee dos partes: la **cápsula de Bowman** (una copa hueca que envuelve a un ovillo de capilares sanguíneo denominado glomérulo de Malpighi) y el **túbulo renal** (estructura hueca en la que se definen cuatro tramos: tubo contorneado proximal, asa de Henle, tubo contorneado distal y túbulo colector).

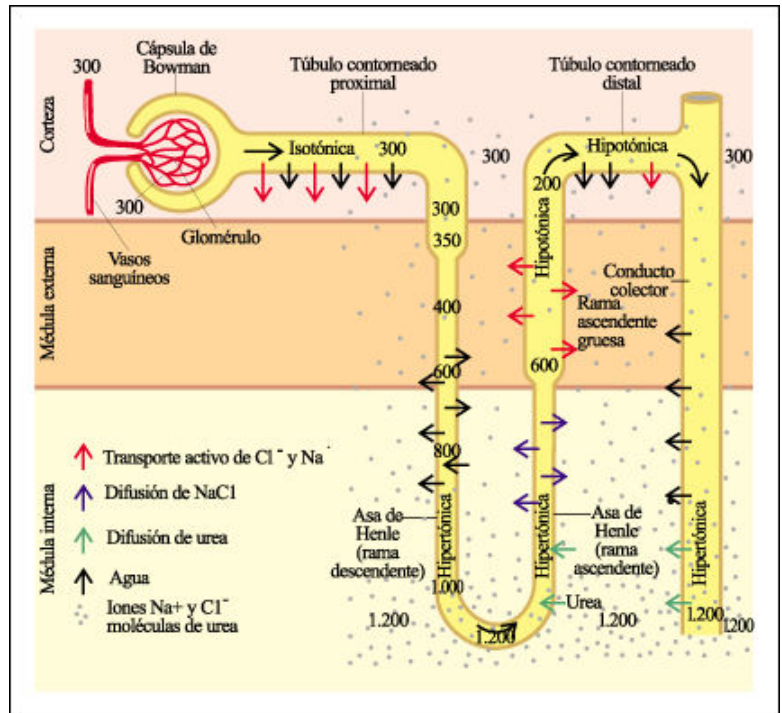


1: corteza renal  
2: médula renal  
3: pelvis renal



Fisiología de la nefrona. La formación de la orina se realiza en dos fases:

1. **Filtración glomerular** (en la cápsula de Bowman): es el paso de plasma y solutos pequeños (agua, sales, aminoácidos, glucosa, urea) al interior de la nefrona de forma no selectiva.
2. **Fase tubular** (en los túbulos renales). En ella se produce la **re-absorción** selectiva de agua (por ósmosis) y de sustancias útiles (sales, aminoácidos, glucosa, por transporte activo). También se produce la **secreción** de algunas sales y de amoníaco. Estas sustancias pasan a la sangre a través de los numerosos capilares que rodean el túbulo.



El resultado es la formación de una orina más concentrada que el filtrado (para economizar agua) gracias al papel del asa de Henle, que genera un medio hipertónico en la médula. No obstante, la cantidad de agua de la orina se puede regular a nivel de la fase tubular, puesto que el filtrado es siempre isotónico.

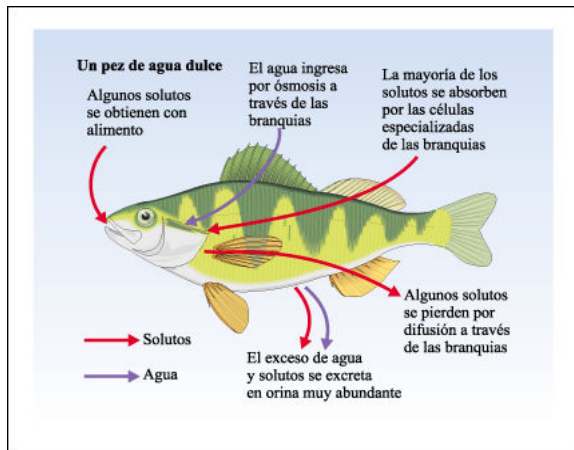
Estructuras excretoras no especializadas:

1. **Aparatos respiratorios:** pulmones, tráqueas (ambos expulsan  $\text{CO}_2$ ) y branquias ( $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$ ).
2. Las **glándulas sudoríparas** (en mamíferos) tienen una función termorreguladora, pero también expulsan agua, sales y urea a través del sudor.
3. **Glándulas lacrimales:** eliminan agua y sales.
4. **El hígado** puede, a través de la bilis, excretar colesterol, bilirrubina (procedente de la degradación de la hemoglobina) y sustancias tóxicas.
5. Las aves marinas y algunos reptiles tienen **glándulas de la sal**, estructuras que eliminan el exceso de sal o de los alimentos marinos. La solución salina concentrada que se genera desemboca en la cavidad nasal o bucal (aves) o cerca de los ojos (reptiles).

## 5.2 LA OSMORREGULACIÓN EN ANIMALES

Los animales marinos sencillos como las esponjas, los celentéreos, los distintos tipos de gusanos y los equinodermos son organismos **osmoconformadores**, puesto que tienen un medio interno siempre **isotónico** con el medio externo marino.

Sin embargo, la ingesta de alimentos y la producción de sustancias de desecho pueden alterar la osmolaridad (concentración de solutos) del medio interno. Por otra parte, hay organismos que viven en salinidades distintas a la marina, como los dulceacuícolas y los terrestres. Por tanto, aparece la **osmorregulación**, que es el conjunto de mecanismos que mantienen constante la concentración de solutos del medio interno y los organismos que lo realizan se denominan **osmorreguladores**.

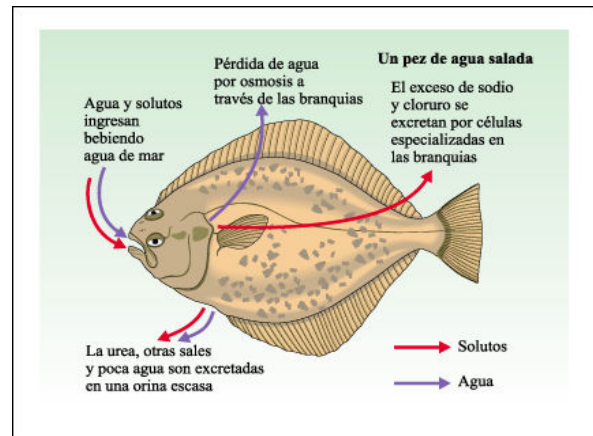


Los **organismos de agua dulce** viven en un medio hipotónico, por lo que el agua tiende a entrar por ósmosis (lo que puede generar hinchamiento) y también pueden perder sales hacia dicho medio. Los mecanismos para evitar o paliar estas tendencias son los siguientes:

- Ingerir poca o nada de agua.
- Producir una orina muy abundante y diluida.
- Incorporar sales por branquias o epitelios mediante un transporte activo.
- Poseer epitelios impermeables.

En cambio, los **organismos de agua salada** viven en un medio hipertónico, por lo que el agua tiende a salir del cuerpo por ósmosis. Para evitar esto, desarrollan los siguientes mecanismos:

- Ingerir agua marina, eliminando las sales mediante transporte activo por las branquias o el intestino.
- Producir una orina escasa y muy concentrada.
- Los condricios utilizan otra estrategia: acumulan urea en la sangre, por lo que se hace ligeramente hipertónica.



Los **organismos terrestres** tratan de evitar la desecación, esto es, la salida de agua, por lo que se enfrentan a una situación parecida a los animales marinos. Para eludir esta deshidratación emplean distintos sistemas:

- Presentar tegumentos formados por quitina (artrópodos) o queratina (vertebrados), ambos impermeabilizados con cubiertas cerasas.
- Los reptiles y las aves eliminan ácido úrico insoluble (que no necesita agua).
- Los mamíferos eliminan una orina concentrada mediante el asa de Henle (será tanto más concentrada cuanto mayor sea su longitud).
- Los mamíferos marinos y del desierto obtienen el agua que necesitan del metabolismo de los nutrientes (agua metabólica).
- Algunos reptiles y las aves marinas pueden beber agua salada gracias a la presencia de las glándulas de la sal que excretan activamente los iones para formar un líquido excretado fuertemente hipertónico.