

Biología y Geología

Unidad 6

Los Animales: sus funciones y adaptaciones al medio II.

Aparatos digestivo y excretor



Foto CMM.

Al igual que el resto de seres vivos, los animales deben tomar del medio las sustancias necesarias para el mantenimiento y renovación de sus estructuras, así como para la obtención de la energía que necesitan para realizar sus funciones. Esas sustancias reciben el nombre de **nutrientes** y el conjunto de procesos implicados en su obtención, procesamiento, utilización y eliminación de residuos, entre otros, se conoce como **nutrición**. En este tema veremos dos de los diferentes sistemas y aparatos implicados en esos procesos: digestivo y excretor.

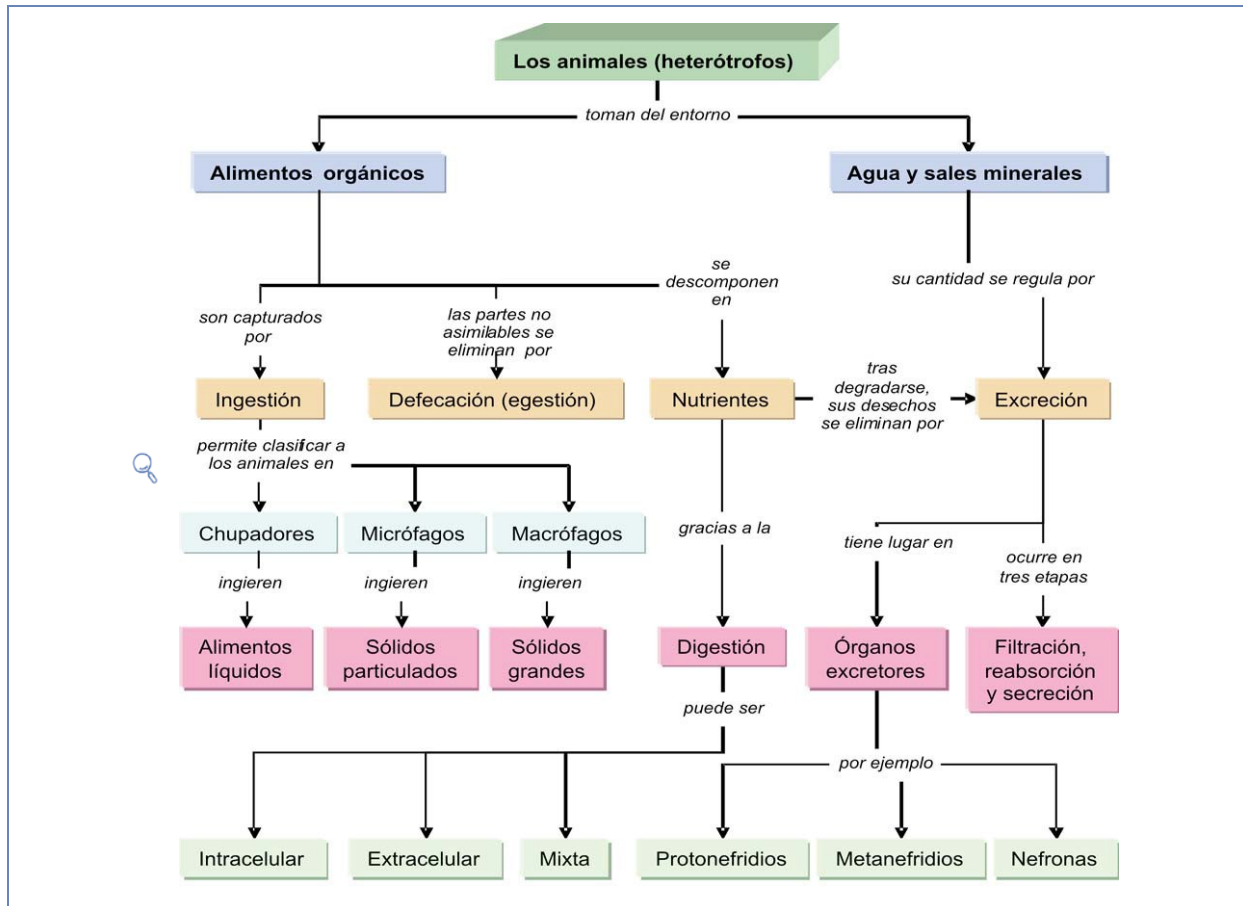
Los animales son **heterótrofos** y necesitan tomar de su medio materia orgánica producida por otros seres vivos. Esta materia, el *alimento*, es transformada por el **aparato digestivo** para extraer de ella los nutrientes básicos.

Del reparto de los nutrientes todos los tejidos se ocupará el **aparato circulatorio**, junto con el aporte del oxígeno necesario para obtener energía en la respiración celular. También se va a ocupar de retirar las sustancias de desecho del metabolismo celular para conducir las hasta los órganos encargados de su eliminación al exterior: **aparato respiratorio** y **aparato excretor**.

La energía contenida en las biomoléculas que llegan a las células se extrae, utilizando oxígeno tomado por el **aparato respiratorio**, en un proceso llamado **respiración celular**.

Índice

	Mapa conceptual	3
	Objetivos	3
1.	Anatomía y fisiología comparadas de los aparatos digestivos	4
1.1.	Funciones de los aparatos digestivos	5
1.2.	Digestión intracelular	7
1.3.	Digestión extracelular	8
1.4.	Animales con digestión mixta	19
	Resumen aparatos digestivos	20
	Actividades	20
2.	Anatomía y fisiología comparadas de los aparatos excretores	21
2.1.	Regulación hidrosalina	21
2.2.	Residuos del metabolismo	22
2.3.	El aparato excretor	25
2.4.	Tipos de aparatos excretores	27
2.5.	Anatomía del riñón de los mamíferos	32
2.6.	La formación de la orina	33
	Resumen aparatos excretores	35
	Actividades	36
	Solucionario	37



Objetivos

1. Comprender el concepto de nutrición heterótrofa.
2. Conocer los mecanismos básicos de la nutrición animal y sus diferentes adaptaciones.
3. Entender los procesos que actuarán sobre un alimento ingerido hasta que los nutrientes pasan al sistema circulatorio, así como los órganos que intervienen en el proceso.
4. Desarrollar hipótesis acerca del tipo de aparato digestivo que tendrán diversos animales según su nivel de complejidad y su estilo de vida.
5. Conocer las características de los diferentes tipos de aparatos digestivo en los principales grupos de invertebrados.
6. Conocer el aparato digestivo característico de los vertebrados, sus órganos y las glándulas digestivas, así como las enzimas que producen.
7. Describir los procesos de absorción en el intestino delgado.
8. Reconocer las diferencias entre excreción, secreción y defecación.
9. Comprender qué problemas encuentran los animales, según el medio en que habitan, en relación con el equilibrio hídrico y osmótico y la eliminación de residuos, así como las soluciones a ello.
10. Entender el funcionamiento de los diferentes tipos de aparatos excretorios.

1. Anatomía y fisiología comparadas de los aparatos digestivos

Como hemos visto, los animales, por ser **heterótrofos**, necesitan tomar del medio los alimentos formados por sustancias químicas complejas que no pueden absorber ni sus células utilizar de forma directa por lo que han de transformarlas previamente, mediante la digestión, en moléculas simples y iones, a lo que llamamos nutrientes.

El primero en estudiar científicamente la digestión fue el físico francés René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). En 1752 hizo deglutir a un azor domesticado pequeños tubos metálicos que contenían carne; dichos tubos protegían a la carne de cualquier acción mecánica de molienda, pero, al mismo tiempo, permitían que los procesos químicos del estómago pudieran actuar libremente sobre la carne a través de unos orificios cubiertos por una fina malla metálica. Réaumur comprobó que, cuando el halcón regurgitaba esos tubos, los alimentos aparecían parcialmente disueltos e iban acompañados de un fluido amarillento.

Posteriores experimentos desarrollados a lo largo de los siglos XVIII y XIX pusieron en evidencia la presencia de unas sustancias químicas que provocaban la descomposición de los alimentos. Estas sustancias fueron llamadas primero fermentos por la similitud de su acción con la que llevaban a cabo las levaduras en las fermentaciones y, más tarde, **enzimas**. Estas sustancias orgánicas, como la amilasa y la pepsina (figura 6.1), **catalizaban** los procesos digestivos tan aparentemente similares a una fermentación

Años más tarde, se descubrió la naturaleza química de las enzimas y se supo que la inmensa mayoría son proteínas; también fue dilucidándose su papel en los procesos que tienen lugar en los seres vivos, entre ellos, como veremos en epígrafes posteriores, la digestión. Para realizar este último proceso, es decir, convertir lo complejo en sencillo, surge la necesidad de poseer un aparato digestivo.

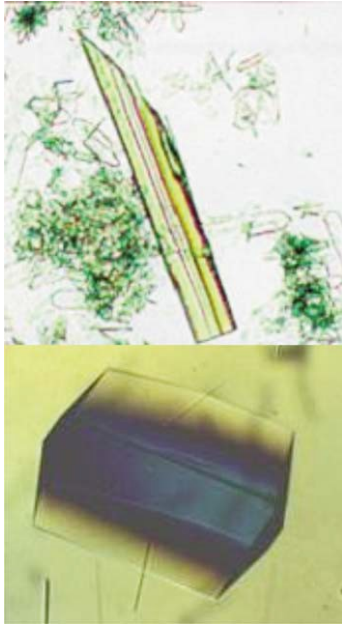


Figura 6.1. Arriba: Fotografía de un cristal constituido por moléculas de diastasa (hoy denominada amilasa). Abajo: Cristal de pepsina humana



CURIOSIDAD

Digestión a la vista

En 1822, un trampero canadiense recibió accidentalmente un tiro de escopeta en el estómago abriéndole una herida por la que se veía parte de un pulmón y el estómago, del cual se vertía el alimento por la abertura. William Beaumont, cirujano del ejército que atendió al herido, comenzó ese mismo año a experimentar con él colocando diversos alimentos y sustancias directamente en el estómago para observar la digestión, además de extraer el jugo gástrico para hacer otros ensayos.

1.1. Funciones de los aparatos digestivos

Alimentación y nutrición son dos fenómenos diferentes aunque están relacionados. Una vez digeridos estos alimentos, los nutrientes que contienen son absorbidos y transportados a los diferentes tejidos para que puedan ser utilizados.

La nutrición es el conjunto de procesos mediante los que el organismo recibe, transforma e incorpora a sus células los nutrientes, que constituyen los materiales necesarios para el mantenimiento de la vida.

La alimentación, sin embargo, es una actividad voluntaria que consiste en proporcionar al cuerpo alimentos libremente escogidos y sometidos a distintos tratamientos en los denominados aparatos digestivos.

Una vez digeridos estos alimentos, los nutrientes que contienen son absorbidos y transportados a los diferentes tejidos para que puedan ser utilizados.

El aparato digestivo lleva a cabo su función en cuatro fases más o menos complejas, dependiendo del grupo de animales de que se trate:

- **Ingestión**, o introducción del alimento en cavidades corporales que aún pertenecen, en rigor, al “exterior” del animal (intestino, vacuolas...).
- **Digestión**, u obtención, a partir de los alimentos, de los nutrientes (moléculas sencillas e iones) asimilables por las células.
- **Absorción** de esos nutrientes a través de las paredes del aparato digestivo y reparto por todo el cuerpo gracias al aparato circulatorio.
- **Egestión** o defecación; o, lo que es lo mismo, eliminación de sustancias no aprovechables.

Habitualmente la digestión se lleva a efecto por una combinación de **medios mecánicos**, que consisten en triturar los alimentos (mediante, por ejemplo, la acción muscular del estómago o la masticación) hasta convertirlos en finas partículas suspendidas en el agua, y **medios químicos**, que transforman dichas partículas en nutrientes que pueden absorberse. La disgregación química tiene lugar, en general, de dos maneras diferentes:

- Por medio de **enzimas digestivas** segregadas por el propio aparato digestivo. La reacción química que catalizan es una hidrólisis (literalmente, “rotura mediante agua”), que podemos esquematizar así:

alimento + agua $\xrightarrow{\text{enzima digestiva}}$ moléculas de menor tamaño

Las enzimas digestivas son **específicas** para un tipo de enlace, pero no para una molécula concreta –como es propio de las demás enzimas no digestivas–, sino más bien para una categoría en-

tera de ellas. Puesto que los alimentos de los animales incluyen en buena medida moléculas de **lípidos**, **glúcidos** y **proteínas**, podremos encontrar enzimas que catalicen la hidrólisis de un determinado tipo de lípidos (como grasas), otras la de una amplia gama de glúcidos y otras la de proteínas. En la siguiente ilustración se señalan, a título de ejemplo, las principales enzimas digestivas de los mamíferos.

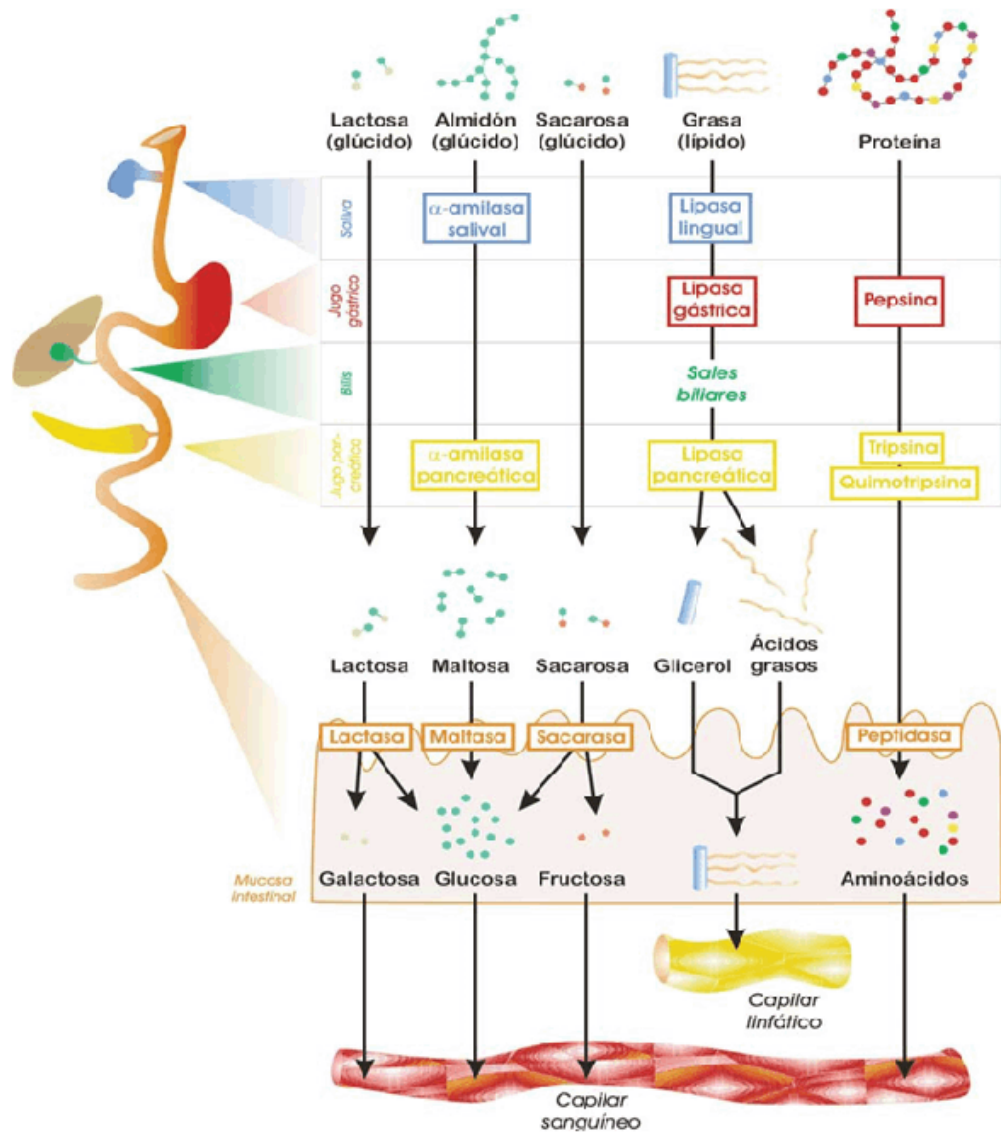


Figura 6.2. Producción de sustancias a lo largo del tubo digestivo y su acción sobre distintos componentes de los alimentos. A la izquierda se ha representado el aparato digestivo. A la derecha, el proceso digestivo, partiendo de los componentes de los alimentos. En los recuadros se indican las enzimas que actúan. Los productos de la digestión son absorbidos por la mucosa intestinal y pasan a los capilares sanguíneos o linfáticos, según los casos. Las sales biliares no son enzimas; su papel consiste en emulsionar las grasas (reducirlas a pequeñas gotitas). El almidón es el azúcar de reserva de las plantas, la sacarosa es el azúcar de caña o de remolacha, y la lactosa el de la leche.

- Mediante **fermentaciones bacterianas**. En el aparato digestivo de numerosos animales proliferan en **simbiosis** trillones de **bacterias**. Estos seres vivos poseen enzimas capaces de, por ejemplo, degradar la **celulosa** de las paredes de las plantas que

ingieren los animales (la tan conocida fibra alimentaria) y fermentar (esto es, transformar químicamente sin llegar a “quemar” por completo) los productos de dicha degradación, liberando ácidos grasos que puede utilizar el huésped como fuente de energía. También muchas bacterias contribuyen a la síntesis de algunas vitaminas, sobre todo del complejo B y del K.

Los aparatos digestivos difieren en gran medida de un grupo animal a otro. Para examinar sus distintos tipos –teniendo en cuenta la formidable diversidad de animales existente– nos serviremos como guía de las tres variantes posibles de digestión, puesto que de ellas dependerán sus rasgos anatómicos:

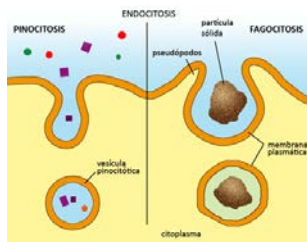
- **Digestión intracelular.** Tiene lugar cuando las enzimas digestivas están dentro de las células, en el interior de unas vesículas llamadas **lisosomas**. El alimento, que no puede ser de gran tamaño, es capturado directamente por las células mediante **endocitosis** (fagocitosis o pinocitosis), y englobado en unas **vacuolas digestivas** que se fusionarán con los lisosomas. Se produce en los poríferos.
- **Digestión extracelular.** Las enzimas digestivas son segregadas por células glandulares al tubo digestivo, donde tendrá lugar la digestión, o incluso –en las arañas y en las estrellas de mar– inyectadas directamente en la presa, que se disuelve rápidamente y luego es succionada.
- **Digestión mixta.** Es en parte intracelular y en parte extracelular.



RECUERDA

La endocitosis...

es un proceso por el que las células pueden adquirir grandes moléculas o partículas de su medio formando **endosomas**.



Se distingue entre **fagocitosis** y **pinocitosis** según se tomen partículas o porciones del medio líquido.

1.2. Digestión intracelular

Los poríferos (esponjas) carecen de boca y de aparato digestivo y, a diferencia del resto de los animales, dependen de la digestión intracelular, con lo que la fagocitosis y la pinocitosis son los mecanismos utilizados para la ingestión de alimento.

En estos sencillos animales la organización pluricelular solo funciona en cuanto a la obtención de alimento: las células flageladas o **coanocitos** (figura 6.3.) crean corrientes de agua que penetran por el sistema de poros y canales del animal, arrastrando el alimento (bacterias, fitoplancton y materia orgánica en suspensión); pero luego, cada célula “trabaja” individualmente. Los coanocitos capturan partículas de alimento y, en algunos casos (esponjas calcáreas), las digieren intracelularmente; pero generalmente transfieren su presa a los amebocitos migratorios, que se encargan de su digestión y de la distribución de los nutrientes por todo el organismo. En ocasiones los amebocitos se transforman en células nodriza, que aseguran reservas alimenticias para los embriones en crecimiento.

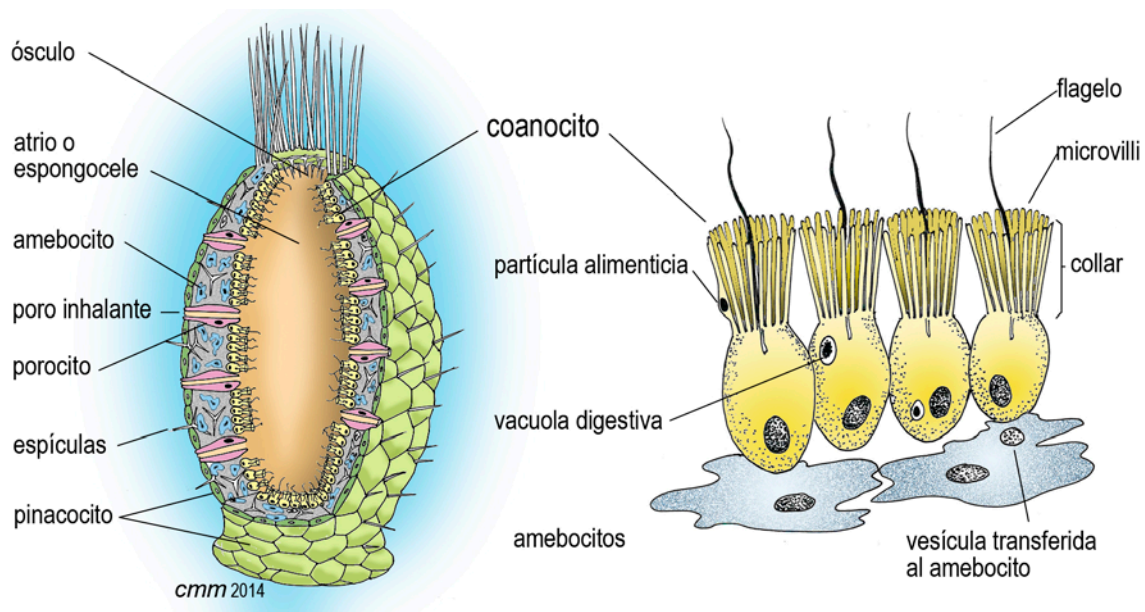


Figura 6.3. Esquema de una esponja con estructura tipo ascon y detalle de los coanocitos y su relación con. El agua penetra por los poros inhalantes hacia la cavidad atrial impulsada por el movimiento flagelar de los coanocitos que atrapan las partículas de alimento (CMM).

1.3. Digestión extracelular

La digestión extracelular tiene una ventaja: permite la ingestión de grandes trozos de comida, mientras que la intracelular queda limitada a partículas de tamaño que la célula pueda asimilar. Suele verse favorecida por la adquisición de unas estructuras que facilitan la digestión y la posterior absorción de nutrientes; probablemente la más adecuada sea un tubo (el **tubo digestivo**) con un orificio de entrada (la **boca**) y otro de salida (el **ano**) a cuyo interior se viertan las enzimas digestivas –segregadas por glándulas– capaces de **hidrolizar** los alimentos que vayan pasando a su través. A partir de este modelo básico encontramos multitud de variantes.

En ciertos animales puede observarse un tubo sencillo y sin diferenciar, pero por regla general se produce una especialización en diferentes tramos. Así, se pueden distinguir:

- El **esófago**, que puede presentar una dilatación o **buche** en la que el alimento se humedece y se ablanda, almacenándose temporalmente.
- La **molleja**, un órgano musculoso que, cuando existe (como en las aves y la lombriz de tierra), colabora en la digestión mecánica del alimento.
- El **estómago**, o dilatación del tubo digestivo en la que tiene lugar la digestión química, y a veces mecánica, del alimento.
- El **intestino**, que en los vertebrados suele estar diferenciado en **delgado** y **grueso**. En el límite entre ambos los **amniotas** presentan a menudo un **ciego**, que a veces se prolonga en el

apéndice. El intestino grueso se abre a través del ano a la **cloaca**, cavidad en la que confluyen también los aparatos reproductor y excretor; en casi todos los mamíferos la cloaca sufre una división en dos porciones, una de los cuales incluye solamente la desembocadura del aparato digestivo –la otra posee la de los aparatos reproductor y excretor– y recibe el nombre de **recto**.

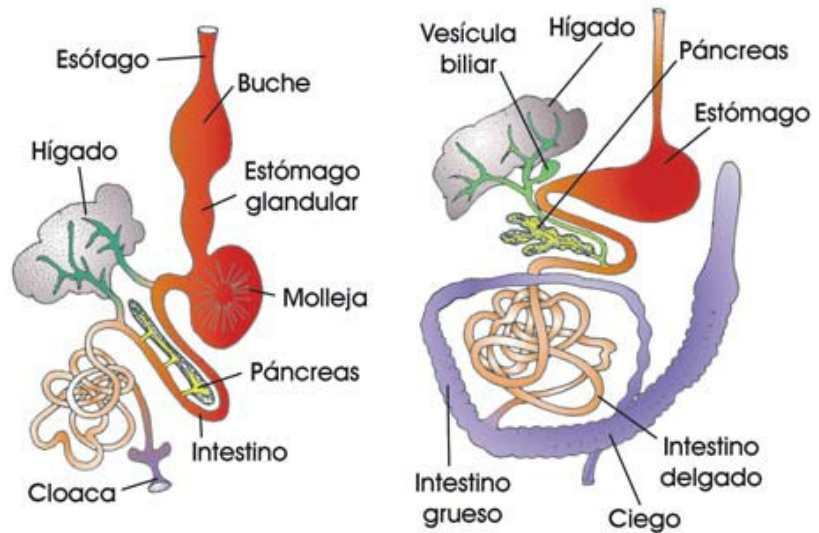


Figura 6.4. Comparación del aparato digestivo de una paloma (izquierda) y de un conejo (derecha)

La pared del tubo digestivo

La diferencia entre los diversos tramos del tubo digestivo que radica en la proporción y en la función de los diversos tejidos que debe incorporar su pared para poder llevar a cabo su cometido, y que son los siguientes:

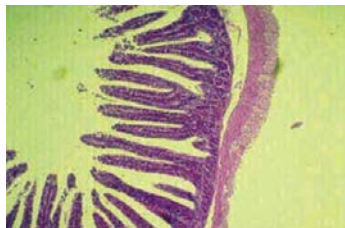


Figura 6.5. La mucosa o capa interna del tubo digestivo de los mamíferos está muy replegada en algunos tramos como el estómago y el intestino, formando las vellosidades intestinales.

- **Mucosa.** El organismo requiere la presencia de un tejido en la parte externa –la que está en contacto con la luz del tubo digestivo– capaz de actuar como la piel, es decir, a modo de una barrera que proteja al animal de las agresiones exteriores; pero, al mismo tiempo –y a diferencia de la piel–, lo suficientemente delgado como para permitir la absorción de nutrientes. Estos requisitos aparentemente contradictorios los cumple la **mucosa**, un epitelio plano formado por una sola capa de células, a veces ciliadas (como en moluscos y anélidos), y lubricado merced a compuestos mucilaginosos segregados por glándulas que preservan su integridad y le dan el nombre. En algunos animales la mucosa es la única pared del tubo digestivo, pero en general se encuentra acompañada de diversos tejidos que la rodean.
- **Capas de tejido conectivo elástico** –que permiten la formación de pliegues de la mucosa– con numerosos vasos sanguíneos y linfáticos.

- **Capas de fibras musculares** que se disponen longitudinal y transversalmente, formando una red capaz de impulsar el alimento mediante contracciones ondulatorias llamadas **movimientos peristálticos**.
- Una trama de **plexos nerviosos** encargada de controlar el movimiento de los músculos y el funcionamiento de las glándulas.
- Una membrana, ya en la parte más interna del organismo, llamada **serosa**, a base de tejido conectivo cubierto por una capa de epitelio.

Además del tubo digestivo, bien preparado para la digestión y absorción de nutrientes, los aparatos digestivos de los animales con digestión extracelular deben contar con órganos apropiados para la ingestión y la egestión. Los estudiaremos a continuación, agrupándolos según su función.

Ingestión

Los animales presentan una enorme variedad de mecanismos para la adquisición del alimento que representan su adaptación particular a la explotación de uno o más tipos de recursos alimenticios. Así, podemos encontrar animales que muestran una especialización extrema hacia un tipo de alimentación muy concreta y otros que actúan de forma generalista utilizando diversos tipos de alimentos.

En todo caso, normalmente los órganos encargados de la ingestión se encuentran en la boca o en sus cercanías. El estudio de la gran diversidad morfológica y funcional de los mismos se puede abordar desde el punto de vista del tipo de alimento hacia cuya adquisición se han adaptado, agrupando esto en tres categorías: líquidos, partículas o sólidos de pequeñas dimensiones, incluso microscópicas, y fragmentos sólidos de mayor tamaño, como veremos en las secciones siguientes.

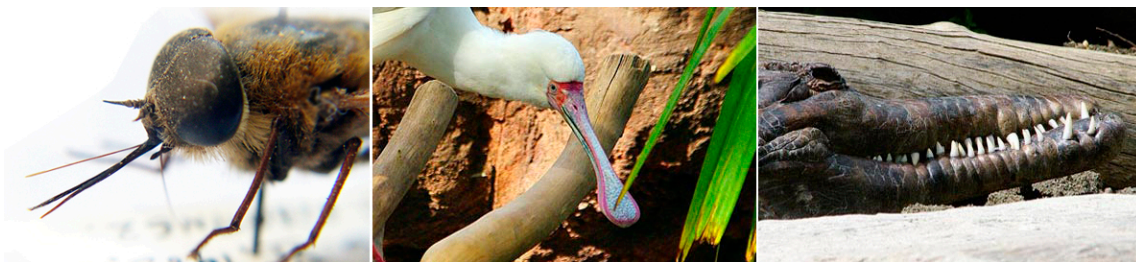


Figura 6.6. De izquierda a derecha: aparato bucal picador-chupador de un tábano, pico de una espátula y falso gavial (fotos CMM).

- *Ingestión de líquidos.* Algunos **insectos** se alimentan solo de jugos de plantas o de sangre de animales, y sus órganos de ingestión son piezas bucales modificadas a modo de tubos chupadores. En otros animales (sanguijuelas, lampreas) semejan ventosas con dientes cortantes. En todos los casos la succión se produce por dilatación muscular de la cavidad bucal, de la faringe o del estómago.

- **Ingestión de partículas microscópicas.** Es propia de los denominados **micrófagos**, que capturan continuamente y de forma casi automática partículas nutritivas –junto con materiales de escaso o nulo valor alimenticio–. Los micrófagos pueden ser:
 - **Filtradores.** Hacen circular el agua a través de su boca (gracias al movimiento de patas en crustáceos, **de cilios celulares en urocordados y moluscos bivalvos**, o de las cavidades bucal y faríngea en ballenas y flamencos), y retienen partículas nutritivas en suspensión por medio de *filtros* (barbas de las ballenas, sedas de crustáceos, branquias...).
 - **Sedimentívoros.** Literalmente “tragan” la tierra o el sedimento para aprovechar los *detritos* asimilables, materia orgánica y organismos vivos –sobre todo **bacterias**– que contiene, como ocurre con muchos **anélidos** (por ejemplo, la lombriz de tierra).
 - **Raspadores** y otros micrófagos de superficie. Un gran número de animales se alimentan separando por fricción partículas diminutas de los grandes trozos de material alimenticio. Así, los caracoles y demás moluscos **gasterópodos** poseen **rádulas**, que son unos órganos raspadores formados por hasta 150 000 “dientes” de quitina (con funciones y formas muy variadas: gancho, cuchillo, peine...) sobre una “lengua” móvil.



Figura 6.7. Linterna de Aristóteles de un erizo de mar común (fotos CMM).



Figura 6.8. Mandíbulas de *Cicindela campestris*, un escarabajo depredador (foto CMM).



Figura 6.9. Las fuertes mandíbulas y grandes piezas dentales de las hienas les permiten triturar los huesos de sus presas (foto CMM).

- **Ingestión de alimentos de gran tamaño.** Muchos animales son **macrófagos**, o sea, capturan activamente a su presa –de una corpulencia comparable a la propia– y la engullen entera o troceada –en cuyo caso la ingestión ocurre simultáneamente a la primera fase de la digestión mecánica–. Sus técnicas de captura de alimento son tan variadas que nos ceñiremos a unos pocos ejemplos.
 - Los moluscos **cefalópodos** atrapan a su presa gracias a los tentáculos y la arrancan pedazos de carne mediante dos potentes mandíbulas –la inferior más larga que la superior– que forman una especie de pico, y que, en los pulpos y en los calamares, tienen los bordes cortantes.
 - Los **equinodermos** exhiben una gran variedad de órganos para realizar la ingestión. Es característica la **linterna de Aristóteles** de los erizos de mar, formada por placas calcáreas con cinco dientes duros que crecen de forma continua; con ellos pueden partir el caparazón de los crustáceos muertos que les sirven de alimento. La imagen de la derecha muestra la Linterna de Aristóteles de un erizo de mar. Se observan las piezas internas y los cinco dientes.
 - Los **arácnidos** suelen poseer un sistema de bombeo (una faringe o estómago chupador) para absorber alimento líquido.
 - La forma más conocida de ingestión es la de los animales preparados para masticar o desgarrar; para ello disponen de **mandíbulas** y **maxilas**, como las de muchos **artrópodos** (que no son sino apéndices modificados) o las

de los **vertebrados gnatostomados** (derivadas de los arcos branquiales y, por regla general, reforzadas con tejido óseo). Es frecuente que vayan provistas de **dientes** de naturaleza calcárea o quitinosa.

Inicialmente, los vertebrados primitivos se alimentaban mediante sistemas de filtración, los cuales pronto fueron reemplazados por otros sistemas. El resultado fue una reducción del tamaño de la faringe y del número de hendiduras branquiales. Excepto en los agnatos, los dos primeros arcos branquiales evolucionaron hasta transformarse en las **mandíbulas**, que se han especializado en la “captura” del alimento. Ciertos peces y serpientes poseen mandíbulas extensibles, por lo que son capaces de engullir enteras a sus presas.

- Ciertos animales, como algunos **anélidos** y las planarias (**platelmintos**), toman el alimento no por la boca, sino a través de la **faringe**, dotada de una gruesa musculatura: sus paredes pueden evaginarse hacia el exterior del orificio bucal para capturar el alimento.

Digestión

Una vez ingeridos, los alimentos avanzan a través del tubo digestivo gracias a **movimientos peristálticos** (como en vertebrados) que son movimientos involuntarios y rítmicos de contracción radial de la pared del tubo digestivo que hacen avanzar el alimento, mediante **cilios** de la mucosa (equinodermos y algunos anélidos) o por ambos medios (también en equinodermos y algunos anélidos).

A lo largo de su recorrido por el tubo digestivo los alimentos van a sufrir diversas transformaciones destinadas a liberar los nutrientes que el organismo precisa. Esas transformaciones constituyen el proceso de la digestión y se distinguen dos tipos:

- La **digestión mecánica**, que incluye procesos físicos que fraccionan el alimento, sin cambiar su composición, y lo preparan para el posterior tratamiento químico.
- La **digestión química**, que provoca la hidrólisis o rotura de las grandes moléculas que componen el alimento para liberar los nutrientes que pueden ser absorbidos para su uso por las células.

Digestión mecánica

Empieza en la boca (masticación por ejemplo) y a veces prosigue en el estómago y en otros órganos trituradores. En la lombriz de tierra y en las aves tiene lugar en la molleja. Las aves carecen de dientes y los sustituyen por granos de arena y piedras pequeñas que tragan y alojan en su molleja; esto es importante sobre todo en aquellas que comen semillas.

El estómago o molleja de los crustáceos posee un molinillo gástrico quitinoso para triturar el alimento (figura 6.12, página 14).

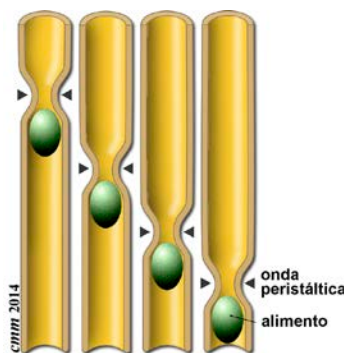


Figura 6.10. Avance de una onda peristáltica (CMM).

Digestión química

Puede comenzar en la boca –por acción de la saliva–, pero donde tiene lugar primordialmente es en aquellos tramos del tubo digestivo capaces de segregar jugos con una gran cantidad de **enzimas digestivas**. Dicha secreción es producida por:

- **Glándulas propias**, formadas por células secretoras incluidas en la pared del tubo digestivo, como las que producen el jugo gástrico en el estómago o el entérico en el intestino humano.
- **Glándulas anejas**, exteriores al tubo pero unidas a él mediante conductos, como el páncreas o las glándulas salivales. Este tipo de órganos secretores es muy variado, en función del tipo de animal:

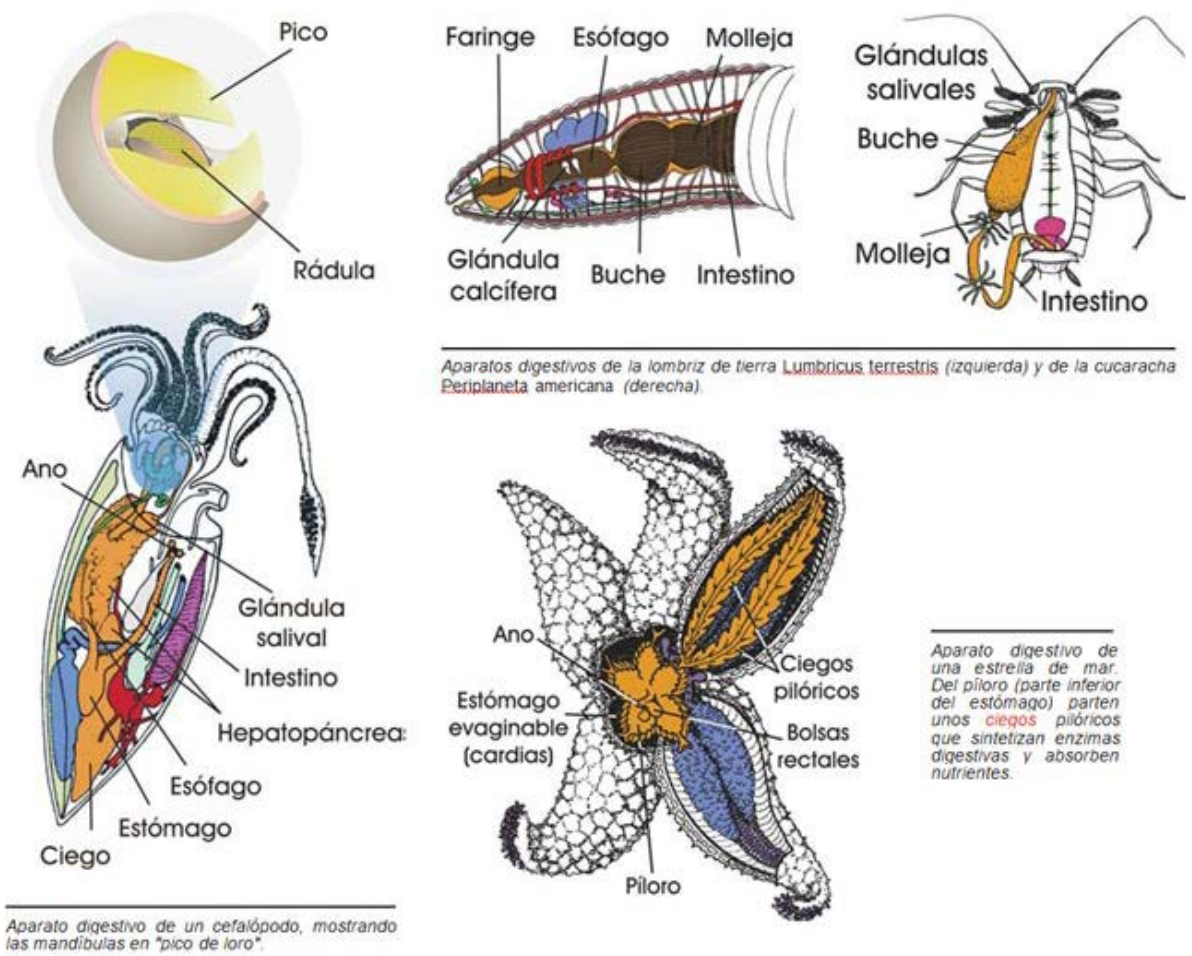


Figura 6.11. Diferentes tipos de aparatos digestivos en animales.

La mayoría de los **oligoquetos**, como la lombriz de tierra, se alimentan de materia orgánica en descomposición, sobre todo de origen vegetal. En la lombriz, la faringe produce una serie de contracciones que bombean el alimento hacia el tracto digestivo. Tras ella, posee un buche y una molleja con funciones de almacenamiento y de trituración, respectivamente. Poseen glándulas digestivas ya en la faringe, aunque la digestión y absorción ocurren sobre todo en el intestino.

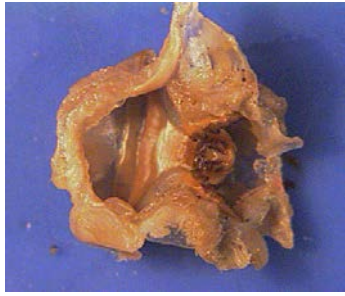


Figura 6.12. Molinillo gástrico de un cangrejo.

Además, en el esófago poseen unas glándulas esofágicas (*glándulas calcíferas*, (figura 6.11) encargadas de controlar el desequilibrio iónico que podría producirse por las grandes cantidades de calcio y otros iones inorgánicos que el animal traga con la tierra. Son glándulas excretoras más que digestivas que eliminan el exceso de Ca en forma de carbonato al tubo digestivo.

En los **insectos** y **miriápodos** están muy desarrolladas las glándulas salivales, que a menudo son nefridios (órganos excretorios) modificados. El lugar principal de secreción enzimática es el estómago (o ventrículo), de forma tubular, que corresponde al intestino medio. En la parte anterior de este tramo hay ciegos gástricos de función mal conocida (figura 6.22. Página 29).

El tramo posterior consta de un intestino y un recto, ambos recubiertos de cutícula. Las especies que consumen madera, como termitas y ciertas cucarachas, albergan en esta zona una comunidad de microorganismos simbiotes capaces de digerir la celulosa.

En la zona de unión del intestino medio y posterior están los **túbulos de Malpighi**, de función excretora (figura 6.22. Página 29).

Los **crustáceos** tienen un tubo digestivo recto que puede presentar algunas expansiones con función de almacén o de estómago triturador y, este caso, tienen crestas o dentículos para ello (*molinillo gástrico*, figura 6.12). Casi siempre poseen varios pares de ciegos, un par de los cuales suele estar modificado formando unas grandes glándulas digestivas o **hepatopáncreas** que producen enzimas digestivas. Los ciegos tienen también función de absorción de nutrientes.

Los **cefalópodos** poseen glándulas salivales y una gran glándula digestiva o **hepatopáncreas** dividida en una parte pancreática esponjosa y otra más grande y sólida o hígado. Tienen un estómago muy musculoso y un ciego de gran tamaño. La digestión se inicia en el estómago y se completa en el ciego, dándose la absorción también en este, en algunas especies (*Loligo*, un calamar), mientras que en otras se ocupa de ello la glándula digestiva, como en *Octopus* (pulpo) y *Sepia* (sepia).

En los **equinodermos** la parte más desarrollada es el estómago. El sistema digestivo de las estrellas de mar consta, principalmente, de una boca en posición ventral, un estómago que se puede revertir, haciendo que su superficie interior pase a ser exterior, y un intestino corto, recto, que acaba en un ano –que puede no existir-. A diferencia de otros animales, las estrellas de mar digieren las presas por fuera, ya que su estómago es reversible. Con sus miles de pies ambulacrales que terminan en ventosas, sostienen la comida aferrada a la parte de atrás de cualquiera de sus brazos, mientras segrega una especie de jugo gástrico rico en enzimas, posibilitando la digestión externa de las presas (frecuentemente moluscos bivalvos).

Los **vertebrados** presentan, además de las **salivales**, dos glándulas anejas exclusivas: el **páncreas** y el **hígado**. Sus secreciones se indican en la figura 6.2. (página 6).

La siguiente sección está dedicada a ampliar el estudio de la digestión en los vertebrados.

La digestión en los vertebrados

Los alimentos que se introducen en la boca son triturados por los dientes y mezclados con la saliva, hasta que se transforman en una masa llamada *bolo alimenticio*. La **saliva** humedece los alimentos para facilitar la deglución y el paso por el esófago, y, además, contienen una enzima, llamada **ptialina** o **amilasa**, que comienza a digerir el almidón. De la boca, el alimento pasa a la faringe y, a continuación, al esófago, en donde los movimientos peristálticos hacen avanzar el alimento hasta el estómago.

Las glándulas situadas en las paredes del estómago segregan el jugo gástrico, formado por **pepsina** –una enzima que comienza la degradación de las proteínas, a las que transforma en polipéptidos–, **ácido clorhídrico** –que suministra la acidez (pH = 2) necesaria para la acción de la pepsina y, además, destruye la mayoría de los microorganismos ambientales que acompañan a los alimentos– y una **secreción mucosa**, que recubre las paredes del estómago y contribuye a protegerlas de la acción del jugo gástrico.

La musculatura de las paredes del estómago produce contracciones rítmicas que dan lugar a dos tipos de movimientos: de **mezcla** y de **propulsión**. Los primeros favorecen la mezcla de la materia del bolo alimenticio con los jugos gástricos formando un papilla llamada **quimo**. Por fin, los movimientos de propulsión hacen pasar porciones de quimo hacia la primera porción del intestino delgado, el duodeno, a través de un esfínter llamado píloro.

En el duodeno se completan las transformaciones químicas de los alimentos, gracias a la acción de:

- **Jugo pancreático que contiene:**
 - ión bicarbonato HCO_3^- , que neutraliza la acidez del quimo procedente del estómago. También contiene otros iones, como Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} .
 - las enzimas **amilasa pancreática** (que degrada los glúcidos salvo la celulosa), la **lipasa pancreática** (que actúa sobre las grasas), la **tripsina** y la **quimotripsina** (que ejercen su acción sobre las proteínas) y las **nucleasas pancreáticas** (que transforman los ácidos nucleicos en nucleótidos libres).
- **Jugo entérico** formado por las enzimas procedentes de las microvellosidades intestinales (disacaridasas, peptidasas, nucleasas...) también colaboran en la degradación de las sustancias orgánicas
- **Sales biliares**, previamente sintetizadas por el hígado y almacenadas en la vesícula biliar; estas sales biliares emulsionan las grasas dentro del intestino, es decir, dispersan las gotas de grasa en pequeñas gotitas estables, lo que facilita la acción de la lipasa pancreática.

Todo este conjunto de sustancias digieren finalmente el alimento y los nutrientes resultantes de la digestión son absorbidos por las paredes del intestino delgado.

El paso del intestino delgado al grueso se hace a través de la llamada válvula ileocecal. El **intestino grueso** tiene varios tramos: colon ascendente, colon transverso, colon descendente, colon sigmoideo, recto y ano, cerrado este por un esfínter interno y otro externo.

El intestino grueso recibe los productos de desecho y en él ocurren procesos como:

- Absorción de agua y formación de las heces por compactación.
- Absorción de electrolitos.
- Procesos relacionados con la formación y absorción de vitaminas K y del complejo B₁₂.
- Fermentaciones producidas por la biota intestinal (microorganismos también conocidos como "flora intestinal").



Un caso especial: el tubo digestivo de los mamíferos herbívoros

Mención especial merece el tubo digestivo de los mamíferos herbívoros, ya que son incapaces de producir las enzimas necesarias para digerir la celulosa de los principales componentes de su dieta, las plantas –recordemos que la celulosa es el polisacárido que forma las paredes celulares de las células vegetales–. Por tal razón, para que tengan lugar sus procesos digestivos deben establecer relaciones simbióticas con bacterias fermentadoras.

Habitualmente estos animales se clasifican en dos grupos atendiendo a su fisiología digestiva: los rumiantes (que incluyen a bovinos, ovinos y caprinos) y los monogástricos o no rumiantes (caballos, camellos, conejos). En realidad se trata de una simplificación excesiva, ya que ambos grupos son capaces de extraer nutrientes de los mismos tipos de alimento. La principal diferencia entre ellos radica en la localización de los procesos fermentadores: en los rumiantes tienen lugar en el estómago, mientras que en los restantes mamíferos ocurren al final del intestino.

El estómago de los rumiantes está dividido en varias cámaras:

- Rumen, panza o herbario.
- Retículo, redecilla o bonete.
- Omaso, libro o librillo.
- Abomaso, cuajar o estómago verdadero.

Cuando una vaca ingiere sin masticar sus 50 kilos diarios de hierba los deposita en la primera de ellas, la panza, donde se mezclan y sufren una primera fermentación. Este alimento es regurgitado en pequeñas bolas (flechas azules de la ilustración) para ser masticado y volver de nuevo a la panza, donde continúa la fermentación y el alimento es transformado por las enzimas de las bacterias y queda en condiciones de ser asimilado. A continuación atraviesa dos cámaras, la redecilla y el libro –donde se produce una cierta absorción de agua– (flechas rojas), hasta llegar al cuajar, en el cual prosigue la digestión, pero esta vez mediante las enzimas del jugo gástrico.



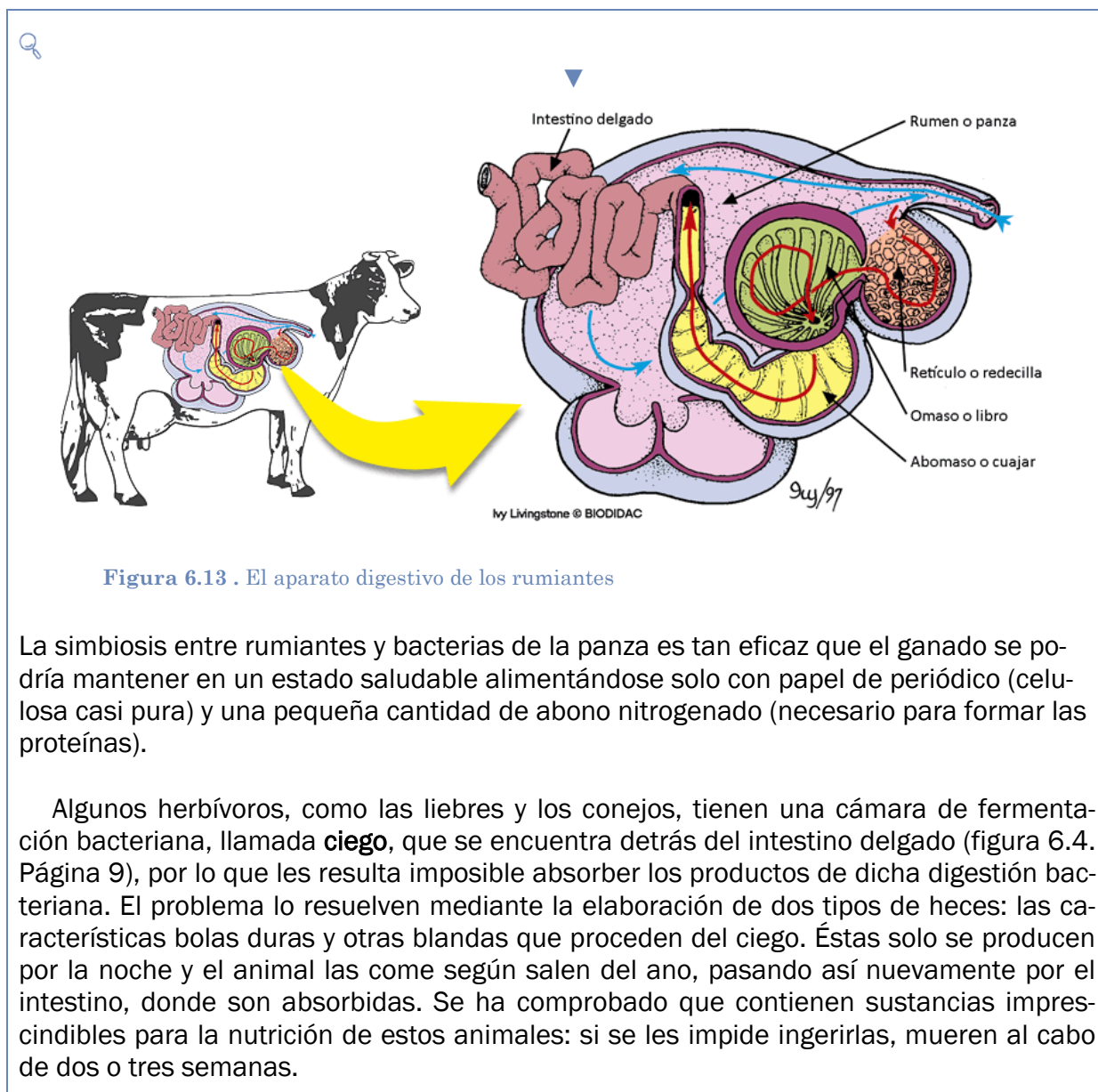


Figura 6.13 . El aparato digestivo de los rumiantes

La simbiosis entre rumiantes y bacterias de la panza es tan eficaz que el ganado se podría mantener en un estado saludable alimentándose solo con papel de periódico (celulosa casi pura) y una pequeña cantidad de abono nitrogenado (necesario para formar las proteínas).

Algunos herbívoros, como las liebres y los conejos, tienen una cámara de fermentación bacteriana, llamada **ciego**, que se encuentra detrás del intestino delgado (figura 6.4. Página 9), por lo que les resulta imposible absorber los productos de dicha digestión bacteriana. El problema lo resuelven mediante la elaboración de dos tipos de heces: las características bolas duras y otras blandas que proceden del ciego. Éstas solo se producen por la noche y el animal las come según salen del ano, pasando así nuevamente por el intestino, donde son absorbidas. Se ha comprobado que contienen sustancias imprescindibles para la nutrición de estos animales: si se les impide ingerirlas, mueren al cabo de dos o tres semanas.

Absorción

Una vez ha concluido la digestión, el alimento ya ha sido hidrolizado hasta reducirlo a moléculas lo suficientemente pequeñas como para poder atravesar las membranas celulares del epitelio intestinal y ser transportados y asimilados por las células.

Entre estos nutrientes podemos distinguir:

- **Agua, sales minerales y vitaminas**, que no han sufrido transformación durante el proceso digestivo.
- **Azúcares simples** (monosacáridos), que proceden de la hidrólisis de los glúcidos.
- **Aminoácidos**, que derivan de la fragmentación de las proteínas.
- **Ácidos grasos y monoglicéridos**, que resultan de la descomposición de los lípidos.

Estos nutrientes han de absorberse en la mucosa intestinal –y, en muchos animales, en las células internas de ciertas glándulas, como el hepatopáncreas–, tarea cuya eficacia se ve incrementada gracias a la presencia de estructuras destinadas a ampliar la superficie de absorción. En los vertebrados podemos encontrar varios niveles de estas estructuras:

- En primer lugar el intestino delgado es un tubo de cierta longitud, lo que está relacionado también con el tipo de alimento. Entre los vertebrados, los carnívoros tienen el intestino considerablemente más corto y sencillo que los herbívoros, denotando el menor tiempo requerido para digerir la carne respecto a la digestión de los vegetales.
- La pared del intestino presenta una serie de pliegues transversales o válvulas conniventes (pliegues de Kerckring).
- La mucosa intestinal forma millones de prolongaciones en forma de dedo denominadas **vellosidades intestinales**. Cada vellosidad está recorrida por una red de capilares sanguíneos y unos conductos linfáticos, los denominados **vasos quilíferos**.
- Además, cada una de estas vellosidades está formada por células con un borde en cepillo, que supone varios centenares de **microvellosidades**, lo que aumenta aún más la superficie de absorción (en la especie humana se calcula que la superficie total de absorción es de unos 100 m²).

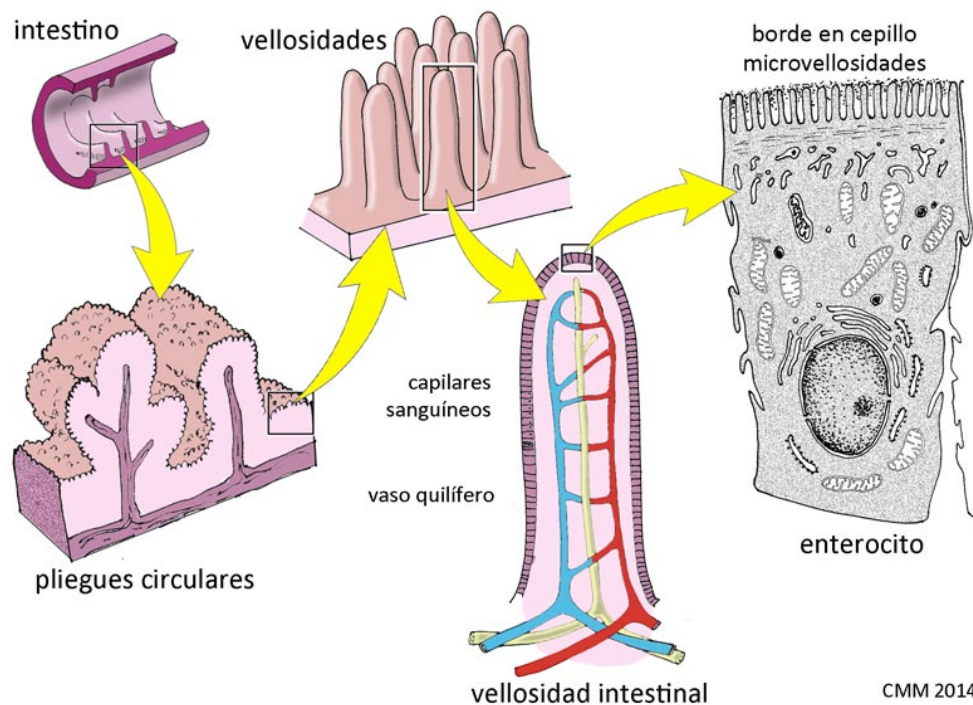


Figura 6.14. Superficie absorbente del intestino delgado de un mamífero (CMM).

Habitualmente, en la parte anterior del intestino (correspondiente al intestino delgado de los vertebrados) se absorben los nutrientes orgánicos; en la parte posterior (intestino grueso de los vertebrados), el agua y los iones inorgánicos.

Algunos insectos que viven en lugares muy secos tienen unas **almohadillas rectales** formadas por células epiteliales, que reducen al mínimo la cantidad de agua en las heces.

Tras ser absorbidos, los nutrientes pasan a la sangre o a la hemolinfa, que habitualmente los distribuye de forma directa por todas las células del organismo.

En los vertebrados, en cambio, la mayoría de los nutrientes no van a las células directamente, sino que antes son transportados por la sangre hasta el **hígado**, que se encarga de almacenarlos, interconvertirlos entre sí y distribuirlos según necesidades. En estos animales, las **grasas** siguen una ruta especial: tras su digestión intestinal son reconstituidas a triglicéridos, a partir de los ácidos grasos y la glicerina, en las células de la mucosa intestinal y envueltas en proteínas y colesterol para formar los **quilomicrones**, que penetran en los vasos **quilíferos**, que los llevan a otros vasos linfáticos y, finalmente, desembocan en la corriente sanguínea.



IMPORTANTE

Defecación y excreción

En ocasiones se confunde la expulsión de los residuos de la digestión con la **excreción**, que es el proceso de eliminación de las sustancias residuales del metabolismo, de lo que se ocupa el aparato excretor.

Egestión

Las sustancias que no se pueden digerir pasan hacia el tramo posterior del tubo digestivo. Aquí se encuentran bacterias que viven a expensas de estas sustancias y producen su putrefacción – aparte de algunos nutrientes generados mediante la fermentación, como se comentó en la página 6–, que convierte a estos residuos en **heces fecales** que son expulsadas al exterior, proceso denominado **defecación**.

1.4. Animales con digestión mixta

Incluye a ciertos **cnidarios**, **platelmintos** y algunos **equinodermos**. En el esquema corporal de estos animales el aparato digestivo no es un tubo con boca y ano, sino que tiene forma de saco con una sola abertura; el alimento entra en dicho saco en grandes trozos procedentes del exterior, en muchas ocasiones por medio de tentáculos que se encuentran rodeando el orificio de entrada. En el interior de la cavidad los alimentos son hidrolizados por enzimas (segregadas por células incluidas en la pared interna). Esta disgregación de los alimentos se corresponde con la fase extracelular; una vez concluida, los nutrientes son ingeridos por células de la cavidad digestiva, donde tiene lugar una digestión intracelular similar a la de las esponjas. Los residuos son expulsados por la abertura del tubo digestivo.

La importancia de ambas fases (digestión extracelular y digestión intracelular) varía según los grupos; por ejemplo, los platelmintos ingieren presas enteras sobre las que actúan las enzimas segregadas por la gastrodermis. En este caso tiene lugar una digestión extracelular muy desarrollada e incluso casi no hay indicios de digestión intracelular.

En cualquier caso hay que advertir que, estrictamente hablando, casi todos los animales practican una digestión mixta. Por ejemplo, algunos moluscos llevan a cabo una digestión intracelular de las proteínas en las glándulas digestivas. Y en los **vertebrados**, los quilomicrones generados en la mucosa transportan grasas

hasta el tejido adiposo, en el interior de cuyas células una lipasa las desdobla en glicerol y ácidos grasos; estos últimos pasan a la circulación sanguínea, representando la principal fuente de energía para muchos órganos.

Resumen

Todos los seres vivos necesitan intercambiar materia y energía con su medio para obtener las moléculas y la energía necesarios para realizar sus funciones vitales.

Los animales son **heterótrofos**, necesitan adquirir materia orgánica formada por otros seres vivos como fuente tanto de materiales como de energía.

El **alimento** es la materia que los animales ingieren para obtener los **nutrientes** que necesitan.

Los animales necesitan un **aparato digestivo** para degradar las grandes y complejas biomoléculas que componen los alimentos en partículas sencillas que puedan ser absorbidas y utilizadas por la célula mediante por la acción de enzimas digestivas.

Los diferentes grupos animales han desarrollado aparatos digestivos que muestran adaptaciones específicas a distintos tipos de alimentos y modos de captura.

En todo proceso de alimentación distinguimos cuatro fases: **ingestión, digestión, absorción y egestión**.

La digestión puede ser **intracelular, extracelular** o **mixta**.



ACTIVIDADES

1. El agua y las sales minerales no sufren digestión y, tras ingerirse, pasan directamente del aparato digestivo al circulatorio. ¿Por qué?
2. Una barrita de pan contiene 31 g de agua, 38 g de glúcidos, 8 g de proteínas, 1 g de lípidos, 30 mg de calcio y 1,7 mg de hierro. ¿Qué jugos digestivos, de los citados en la ilustración del apartado *Funciones de los aparatos digestivos*, actuarán sobre cada nutriente?
3. Los placozoos son los animales más simples que se conocen: tienen forma de sacos planos, redondeados; apenas son visibles y constan de unos pocos miles de células pertenecientes a solo cuatro tipos diferentes (en comparación, una esponja tiene entre diez y veinte tipos celulares); viven en el mar y se alimentan de algas microscópicas, aunque carecen de boca. Propón una hipótesis acerca de cómo resuelven estos animales el problema de la digestión.
4. ¿Cómo llevan a cabo la ingestión una sepia, una ascidia y un tigre?
5. Habitualmente se dice que los animales micrófagos suelen ser pequeños y poco activos, mientras que los macrófagos se describen como móviles y activos. ¿Sabrías indicar excepciones a esta regla?
6. Explica el papel del hígado en la nutrición de los vertebrados. ¿Por qué en los invertebrados la actividad metabólica es máxima tras las comidas, mientras que en los vertebrados puede mantenerse siempre a nivel constante?
7. Una vía usual para administrar medicamentos, sobre todo a niños, es la instilación rectal mediante un enema. ¿Tiene algún fundamento esta práctica?

2. Anatomía y fisiología comparadas de los aparatos excretores

Los nutrientes procedentes de la digestión han llegado a todas las células del organismo y han sido utilizados para construir estructuras celulares y para obtener la energía necesaria para mantener las funciones vitales. Como consecuencia de la actividad celular, se han producido una serie de sustancias de desecho. Estos residuos, cuando alcanzan cierta concentración, pueden ser tóxicos para las propias células, por lo que han de ser expulsados fuera del organismo para que la composición del medio interno se mantenga dentro de unos límites tolerables. Algo parecido ocurre con el agua y las sales minerales, cuya concentración, como enseña veremos, ha de estar correctamente regulada.

El proceso mediante el cual el organismo **elimina los productos de desecho procedentes de las reacciones metabólicas** que tienen lugar en las células y **regula los equilibrios químicos de agua y sales minerales** entre el organismo y su entorno se denomina excreción.

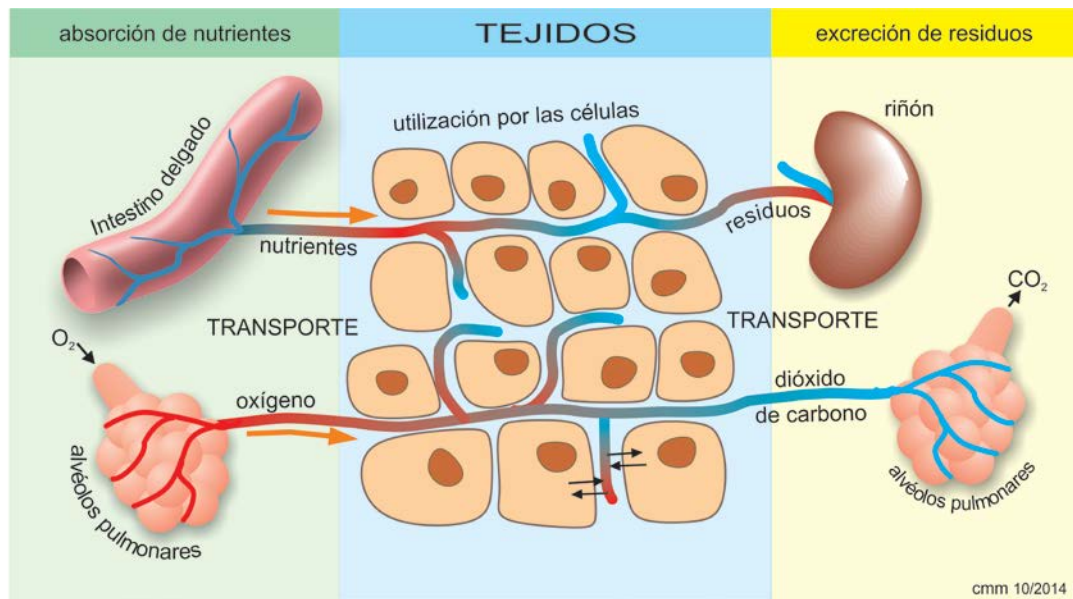


Figura 6.15. Relación entre la utilización de nutrientes por las células y eliminación de productos de desecho (CMM).

2.1. Regulación hidrosalina

La vida animal empezó en el mar, y casi cualquier grupo incluye muchas especies que viven en él. Resulta lógico esperar que la composición del citoplasma de las células de dichos animales y de los fluidos corporales que las bañan sea similar a la del agua del mar –como una especie de “mar interior”–; lo contrario podría



RECUERDA

La ósmosis

Las membranas biológicas se comportan en general como **membranas semi-permeables**, es decir que muestran permeabilidad selectiva frente a determinadas moléculas o iones.

Se llama **ósmosis** al proceso de difusión pasiva de agua de una disolución a través de una **membrana semi-permeable que impide el paso del soluto**.

Podemos imaginarlo como una barrera que impide el paso de ciertas moléculas de gran tamaño pero deja pasar las de agua.

En esta situación se produce un movimiento del agua a través de la membrana semipermeable **desde la disolución menos concentrada (hipotónica) a la más concentrada (hipertónica)**.

acarrearles problemas derivados de la diferencia de osmolaridad (es decir, del número total de solutos por litro) entre el medio externo y el interno. En efecto, si el medio externo es hipotónico (de inferior **osmolaridad**) con respecto al interior del animal, sus células absorberán agua y se hincharán; en cambio, si el medio externo es hipertónico, las células se deshidratarán.

¿Cuál es el problema en diferentes medios?

- **Medio marino:** En la mayoría de los invertebrados marinos el medio interno es isotónico con el agua del océano. En general, los animales marinos ingieren con el alimento un exceso de sales que han de eliminar.
- **Medio dulceacuícola:** Su osmolaridad es muy superior a la del agua en que viven por lo que su organismo se ve invadido por un exceso de agua que deben expulsar.
- **Medio aéreo** (terrestre): Este medio se caracteriza por la escasez de agua, luego el problema es su conservación.

Por otra parte, cualquiera que sea el medio, las células de todos los animales producen residuos metabólicos cuya concentración hay que controlar evitando que alcance niveles tóxicos, como se verá en el apartado siguiente.

2.2. Residuos del metabolismo

La actividad metabólica celular genera diversos metabolitos residuales que es necesario expulsar al medio para evitar su acumulación en células, tejidos o fluidos corporales, como son:

- **Dióxido de carbono**, procedente de la respiración de glúcidos, grasas, aminoácidos y nucleótidos; en la degradación de estos dos últimos tipos de moléculas (que contienen nitrógeno) se genera, además, amoníaco.
- **Urea**, que se forma sobre todo en el hígado a partir de amoníaco, lo que permite neutralizar esta sustancia altamente tóxica.
- **Ácido úrico**, que proviene de la degradación de ciertos nucleótidos conocidos como purinas. Muchos animales “evitan” el amoníaco resultante de la destrucción de los aminoácidos combinándolos para formar purinas y, finalmente, ácido úrico.
- **Cuerpos cetónicos** (restos de ácidos grasos o de aminoácidos que han perdido el nitrógeno), que se eliminan en grandes cantidades en situaciones de alteración del metabolismo (como en la diabetes).
- **Ácidos grasos** de cadena corta (como el ácido valeriano) generados durante la combustión incompleta de moléculas que carecen de nitrógeno (por ejemplo, en nematodos parásitos).
- **Aminoácidos** y **azúcares** que a veces se acumulan peligrosamente en la sangre, sobre todo tras el consumo excesivo de ciertos alimentos.
- **Toxinas, drogas** y principios activos de **medicamentos**.

En resumen, los animales deben enfrentarse a dos problemas: el **control del equilibrio hidrosalino** y la **eliminación de los residuos del metabolismo**.

Eliminación del nitrógeno

Los animales se deshacen del nitrógeno procedente de la degradación de los aminoácidos y de los nucleótidos en forma de un amplio surtido de productos. El que predomine uno u otro suele estar ligado al medio en el que vive el animal:

Amoniaco	Aunque es muy tóxico también es muy soluble en agua, y resulta fácil de eliminar a través de cualquier superficie en contacto con el agua. Solo se elimina rápidamente, pues, en formas de vida acuática (animales amoniotélicos).
Urea	Es poco tóxico incluso en concentraciones elevadas (los tiburones lo acumulan en la sangre para incrementar su osmolaridad). Su síntesis implica gasto de energía y además su eliminación requiere bastante agua. Es el principal producto nitrogenado de desecho en peces cartilaginosos, anfibios adultos y mamíferos (animales ureotélicos)
Ácido úrico	Tampoco resulta tóxico y es poco soluble en agua, cuya reabsorción precipita el ácido úrico originando una sustancia semisólida. Por ello, y a pesar de que su síntesis es cara, es la forma de eliminación del nitrógeno preferida por los animales “ahorradores de agua”, como los caracoles terrestres, los insectos, la mayor parte de los reptiles y las aves (<i>animales uricotélicos</i>). Los cocodrilos producen ácido úrico o urea según la disponibilidad de agua y la alimentación.
Óxido de trimetilamina	Óxido de trimetilamina Es soluble y no tóxico, y lo producen los peces. Contrarresta el pequeño efecto tóxico que pudiera tener la urea.

Las soluciones

Resumiendo lo anterior, los animales necesitan eliminar los productos nitrogenados residuales evitando que se acumulen en sus tejidos pero evitando, en la medida de lo posible, la pérdida de agua según el medio en que habitan. Para resolver estas dificultades han desarrollado distintas estrategias:

1. Procesos que no utilizan estructura específica alguna.

Si las células de un animal están en contacto directo con el agua pueden eliminar sus propios productos de desecho solubles por **difusión** o por **transporte activo** a través de la membrana plasmática. Este es el caso de las esponjas, los cnidarios, los equinodermos y los urocordados.



Figura 6.16. Las aves marinas expulsan a través de los orificios nasales la solución salina procedente de las glándulas de la sal.

2. Utilización de estructuras que pueden tener otros fines diferentes de la excreción

Muchos animales aprovechan otros órganos, en la medida de lo posible, con una finalidad excretora:

- El aparato respiratorio elimina la mayor parte del dióxido de carbono. Las branquias de los peces marinos, de los crustáceos y de los cefalópodos eliminan el exceso de sal originado cuando ingieren agua de mar y buena parte del amoniaco que sintetizan.
- El intestino juega un importante papel en la eliminación de los productos nitrogenados, como en algunos crustáceos, o de compuestos metálicos de calcio, magnesio, manganeso, cobre, cobalto...
- Las glándulas digestivas de algunos animales como los cefalópodos participan activamente en la eliminación de desechos nitrogenados.
- Las tortugas marinas, las gaviotas y los pingüinos eliminan el exceso de sal en forma de soluciones concentradas (de hasta un 7 por ciento) gracias a glándulas de la sal que rodean los ojos (figura 6.16).
- Los tegumentos resistentes a la evaporación permiten luchar contra la pérdida de agua. Asimismo, a través de la piel –en particular, por las glándulas sudoríparas– se eliminan buen número de sales inorgánicas.
- Los insectos acuáticos pueden eliminar también el amoniaco a través de la superficie del cuerpo. Igual sucede con los equinodermos.

3. Utilización de estructuras específicas: los aparatos excretores.

Exceptuando los animales citados en el punto 1, el resto solo pueden intercambiar agua y solutos con el aparato circulatorio que, a su vez, tampoco está en contacto directo con el exterior. Lo que necesitarán, entonces, es un sistema que sirva de enlace entre los medios externo e interno. Un sistema tal, además, deberá ejecutar instrucciones precisas –transmitidas por hormonas– acerca de qué se considera, en cada momento, un desecho a eliminar o un recurso valioso que conviene retener (el agua y las sales, por ejemplo, son una cosa u otra según su concentración, pero el amoniaco es tóxico siempre). Dichas instrucciones se generarán con la información recabada por sensores situados en lugares estratégicos del organismo que midan el volumen de agua y la concentración de todo tipo de solutos en los fluidos corporales.

La mayoría de los animales poseen un aparato excretor que realiza esas funciones y su actividad es la **excreción**.

2.3. El aparato excretor

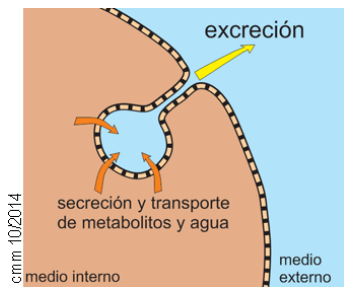


Figura 6.17. Aparato excretor ideal (CMM).

En principio, un aparato excretor ideal podría consistir simplemente en una cámara comunicada con el entorno del organismo y revestida de células epiteliales (figura 6.17). Éstas deberían poseer toda suerte de bombas, esto es, de proteínas de la membrana plasmática que consumen energía para transportar activamente agua, iones, urea y demás solutos sobrantes desde los fluidos corporales hasta la cavidad de la cámara; de ahí, serían evacuados al exterior.

Desgraciadamente, la naturaleza ha inventado todas las bombas precisas... excepto la de agua. Según descubrió en 1991 el médico estadounidense Peter Agre, un buen número de células están equipadas con unas proteínas en forma de canal llamadas **acuaporinas**, a través de las cuales el agua fluye en el sentido prescrito por las fuerzas osmóticas. Pero si en el esquema que más arriba calificábamos de ideal nos limitamos a sustituir las bombas de agua por acuaporinas, un pez, por ejemplo, jamás podría desprenderse activamente del agua sobrante. Para lograrlo tendría primero que bombear algún soluto, como cloruro sódico, hacia el interior de la cámara que sirve de aparato excretor; el agua le seguirá entonces pasivamente a través de las acuaporinas para compensar la elevada **osmolaridad** creada en la vecindad del organismo.

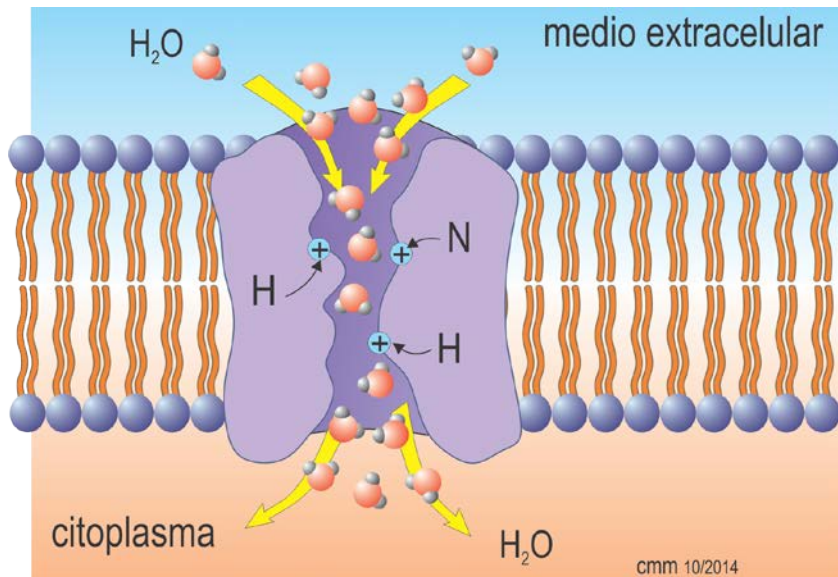


Figura 6.18. Representación de un canal de agua formado por acuaporinas en la membrana plasmática (CMM).

Los procesos de excreción

Puesto que confiar la excreción únicamente al flujo osmótico a través de las acuaporinas crea nuevas dificultades, la evolución ha desarrollado una estrategia diferente. Consiste en extraer de la sangre o la hemolinfa una cantidad enorme de líquido extracelular; buena parte de él (hasta un 99 por ciento) será reabsorbida de

nuevo por el organismo, dejando fuera el excedente de agua y sales, la urea y todas las sustancias que no debe retener.

En definitiva, la excreción incluirá tres procesos:

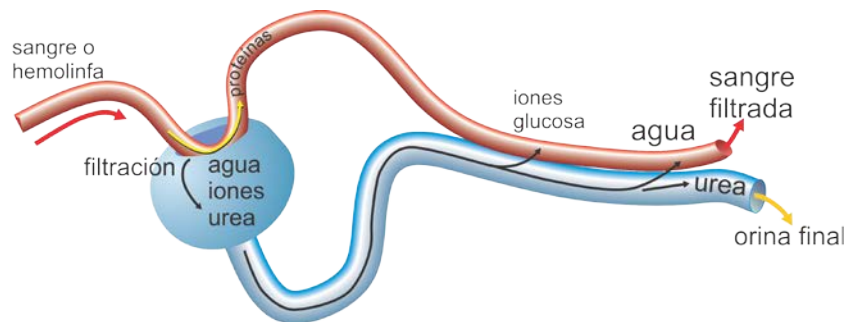


Figura 6.19. Un aparato excretor filtra grandes cantidades de sangre o hemolinfa y reabsorbe las sustancias útiles.

1. Filtración

Los fluidos corporales se filtran a través de un epitelio con una sola capa de células. El proceso se ve favorecido por la presión de los fluidos, por ejemplo la presión sanguínea en los vertebrados. El tamiz no es demasiado fino, y prácticamente las únicas partículas que quedan retenidas son células individuales y proteínas; el resto de las sustancias –incluidas muchas que se han de eliminar, como la urea, pero también otras que resultan útiles para el organismo– formarán parte del líquido filtrado, cuya composición será muy parecida a la de la linfa y al que podemos llamar orina inicial.

2. Reabsorción

Una parte de la orina inicial formada por filtración se reabsorbe a través de las células epiteliales que tapizan las paredes de un largo tubo que la conducirá al exterior. El proceso ha de concluir lo más rápidamente posible, de modo que las sustancias que hay que conservar se reintegren a los fluidos corporales sin que, por ejemplo, la urea tenga tiempo de seguirlas (en este tramo del aparato excretor la urea carece de transportadores propios, pero puede difundir, si bien más lentamente que el agua, a través de las acuaporinas); de esta manera se llega al mismo resultado que se habría obtenido con el aparato excretor ideal, pero dando un rodeo (destinado, repitámoslo, a compensar el “olvido” que cometió la naturaleza al no fabricar bombas de agua).

Los animales acuáticos reabsorben principalmente sales, proceso que implica un consumo importante de energía, y la orina resultante es más diluida (hipotónica) que los fluidos corporales –en los invertebrados marinos suele ser isotónica–; en cambio, los terrestres reabsorben sobre todo agua, y producen siempre una orina concentrada muy hipertónica (véase el recuadro **Recuerda** en la página 22).

3. Secreción

Es la cesión de las sustancias clasificadas como “de desecho” (sobre todo principios activos tóxicos de vegetales, productos fermentados que las plantas y los hongos fabrican para limitar su consumo y medicamentos) desde los fluidos corporales a la orina –que se convierte así en la *orina final*– o directamente al exterior, en zonas alejadas del cuerpo (branquias, piel...).

Así, mediante la secreción se controla la concentración de fluidos corporales.

La secreción y la absorción son procesos básicamente iguales pero que operan en direcciones opuestas; no obstante, no suelen ocurrir simultáneamente y las sustancias secretadas pueden ser muy diferentes a las reabsorbidas.

La liberación de la orina final puede hacerse de una manera continua o puede acumularse en una **vejiga urinaria**. En muchos casos el aparato excretor desemboca directamente en el exterior, pero en otras ocasiones desemboca en la cloaca (cavidad en la que también liberan sus productos el aparato reproductor y el digestivo), o en el tramo final del aparato digestivo. En los casos en los que la orina se almacena, está es expulsada al exterior de forma intermitente.

2.4. Tipos de aparatos excretores

Existe una gran variedad de órganos excretores, tanto en estructura anatómica como en localización. Los más representativos son:

Protonefridios

Se presentan en muchos grupos, entre ellos los platelmintos (figura 6.20) y las larvas de anélidos y moluscos (recordemos que en ambos grupos se trata de la larva trocófora). Los protonefridios son relativamente sencillos: constan de un sistema de canales, ciegos (sin abertura) por la parte interna, que se abren al exterior del cuerpo por un poro excretor (**nefridiódoro**) y que a menudo se ramifican. El extremo interior de cada rama está separado de los líquidos corporales por una sola célula ciliada en forma de botella llamada **célula flamígera** o por un racimo de células con un flagelo, también tubulares y huecas (**solenocitos**).

Ambas estructuras son primordialmente filtradoras, encargadas sobre todo de la regulación hídrica –en estos casos, la eliminación de sustancias nocivas tiene lugar por las paredes del cuerpo del animal–, ya que recogen de los líquidos intersticiales el exceso de agua, por osmosis, para evacuarla al exterior. El movimiento de los cilios o de los flagelos conduce el líquido filtrado hacia el nefridiódoro. A lo largo de los túbulos se reabsorbe parte del agua y de las sales minerales.

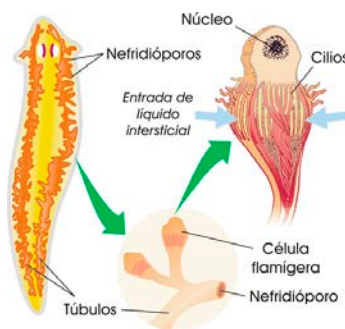


Figura 6.20. Protonefridios de una planaria (planaria).

Metanefridios

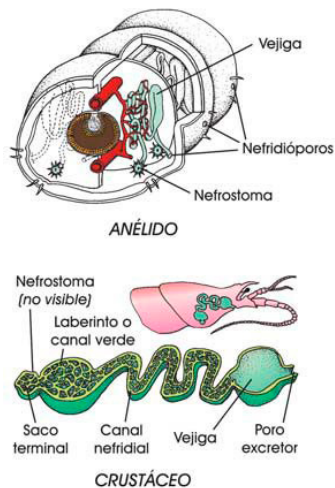


Figura 6.21. Metanefridios de un anélido (arriba) y célula antenal de crustáceo (abajo).

También llamados simplemente nefridios y glándulas renales. Los metanefridios son también tubos que desembocan al exterior por nefridioporos, pero su extremo interno no está “taponado” por células, sino abierto y en comunicación con la cavidad general del cuerpo o **celoma**. Cuando los líquidos corporales pasan al celoma atraviesan el tejido epitelial que lo tapiza, el peritoneo, que los filtra. El líquido celómico resultante penetra por la abertura del metanefridio o **nefrostoma**, que tiene forma de embudo; en sus bordes presenta cilios, cuyo movimiento hace circular el líquido filtrado por el tubo, donde tienen lugar los procesos de reabsorción y de secreción. Cerca del nefridioporos el tubo puede formar una vejiga urinaria.

Este esquema básico se presenta en la mayoría de los anélidos (figura 6.21), en los que puede haber un par de metanefridios por segmento, como en la lombriz de tierra; en otros casos solo los encontramos en algunos segmentos.

En moluscos adultos y también en artrópodos existen estructuras análogas a los metanefridios, pero más complejas, llamadas **glándulas renales** (en los artrópodos también reciben el nombre de glándulas coxales), que están limitadas a ciertas regiones del cuerpo (por ejemplo, en arácnidos desembocan en la base de las patas locomotoras) y a menudo faltan por completo. Los crustáceos (figura 6.21, abajo) solo las conservan en el cefalotórax (parte anterior del cuerpo), y se denominan **glándulas maxilares** (si sus conductos desembocan en la base de las maxilas) o **glándulas antenales** (si el nefridioporos se sitúa cerca de la base de las antenas); en algunos crustáceos como el cangrejo de río la glándula antenal, llamada glándula verde, es de gran tamaño y está muy plegada, lo que produce un gran aumento de la superficie secretora. En los insectos y miriápodos suelen estar modificados como glándulas salivales.

Las glándulas renales de los artrópodos realizan la filtración de la hemolinfa y también efectúan una reabsorción de las sustancias útiles y una secreción de las sustancias que se han de eliminar. La mayor parte de los crustáceos expulsan el amoníaco por las branquias, pero los artrópodos terrestres suelen producir ácido úrico, que es un compuesto mucho menos tóxico.

Túbulos de Malpighi

A medida que disminuye la importancia de los nefridios entre los artrópodos se incrementa la actividad excretora del tubo digestivo. En los **quelicerados** y en los **insectos** y **miriápodos** esta actividad se localiza finalmente en sacos ciegos que se abren al intestino, conocidos como **túbulos de Malpighi** (figura 6.22, página 29). En su interior se segrega activamente potasio, y el agua se difunde merced a procesos osmóticos. El agua lleva en disolución ácido úrico compuesto que tiene la ventaja de que precisa menos agua; el ácido úrico va a parar al intestino en forma de urato potásico; en la parte posterior del intestino se reabsorbe la casi totalidad del

agua contenida en la orina, el ácido úrico precipita y se deposita junto con las heces.

En artrópodos también es frecuente la excreción por acumulación, como alternativa o complemento de la excreción por secreción. En este caso se almacenan los productos de excreción en **nefrocitos** –células o agrupaciones de células que se encuentran dispersas por el cuerpo, como las células pericárdicas que se encuentran a ambos lados del vaso dorsal– o directamente en la cutícula. La acumulación suele ser en forma de bases nitrogenadas muy poco solubles que forman depósitos sólidos. En este último caso las mudas sirven para la función añadida de librarse de esas sustancias de desecho.

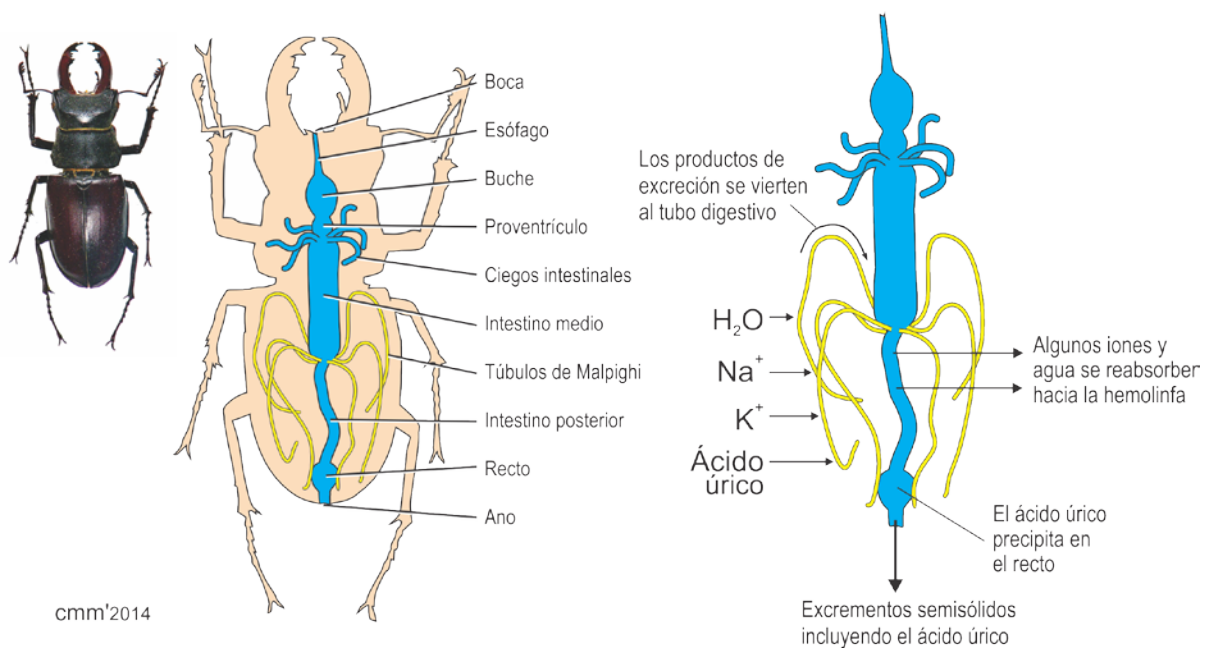


Figura 6.22 . Túbulos de Malpighi en un insecto (CMM).

Riñones

Son los órganos excretores por antonomasia de los **vertebrados**. Varían de un grupo a otro pero obedecen –con las pertinentes modificaciones– a un plan de organización común.

El modelo ancestral, llamado **holonefros**, se extiende desde la cabeza hasta la cloaca y consta de túbulos (uno por cada segmento del cuerpo) parecidos a metanefridios: se abren al **celoma** por nefrostomas, pero no se comunican individualmente con el exterior, sino a través de un canal común, el **conducto de Wolff**, que desemboca en la cloaca. Su función originaria era la evacuación de gametos; secundariamente adoptaron una función excretora cuando, cerca de la entrada de cada túbulo, un **glomérulo** –apotonamiento de capilares sanguíneos– filtraba al celoma sangre procedente de la **aorta dorsal**. Estos túbulos, pues, recogen una mezcla de líquido celómico y plasma sanguíneo filtrado.

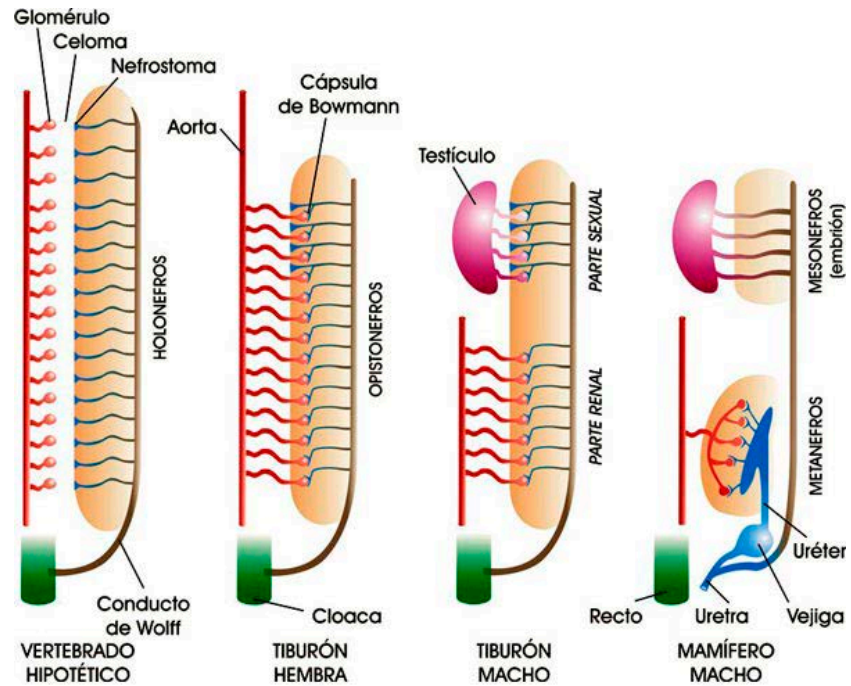


Figura 6.23. Perfil longitudinal de varios riñones (la parte superior de la ilustración corresponde a la región anterior del animal).

Las distintas regiones del holonefros experimentan profundas transformaciones de un grupo de vertebrados a otro:

1. **Pronefros.** Es la parte anterior del holonefros, y se llama también *riñón cefálico*. Suele aparecer como un esbozo en el cuello de los embriones. En algunos peces óseos y larvas de anfibios es funcional, pero en muchos peces óseos adultos se ha transformado en un órgano linfoide.
2. **Opistonefros.** Comienza a continuación del pronefros y se extiende hasta la región caudal. La organización segmentaria (denominada **metamería**) tiende a desdibujarse aquí, apareciendo varios túbulos por segmento. Además, en la pared de cada túbulo se desarrolla una invaginación en forma de copa llamada **cápsula de Bowman**, que rodea al glomérulo más cercano por una doble envoltura; éste, pues, ya no vierte su filtrado al celoma, sino a la hendidura existente entre las dos hojas de la cápsula de Bowman, llamada **nefrocele**. La cápsula y el glomérulo forman un **corpúsculo renal**; generalmente el nefrostoma desaparece, con lo que se pierde la comunicación abierta con el celoma y la única salida del nefrocele es el **canalículo renal** que se comunica con el conducto de Wolff. El conjunto del corpúsculo y el canalículo renales recibe el nombre de **nefrona**.

En los peces óseos y en las hembras de los peces cartilaginosos y de los anfibios el opistonefros es un órgano homogéneo. En los machos de estos dos últimos grupos la región anterior del opistonefros (parte *sexual*) se “pone al servicio” de los órganos genitales, y el conducto de Wolff sirve también para conducir a los espermatozoides (figura 6.23); en los machos de tiburón la parte sexual ha perdido la función excretora, función ésta que queda reservada a la región posterior del opistonefros (parte *renal*).

3. **Mesonefros y metanefros.** Se corresponden, respectivamente, con la parte sexual y la parte renal del opistonefros, que en los tetrápodos están separadas tanto en el espacio como en el tiempo.

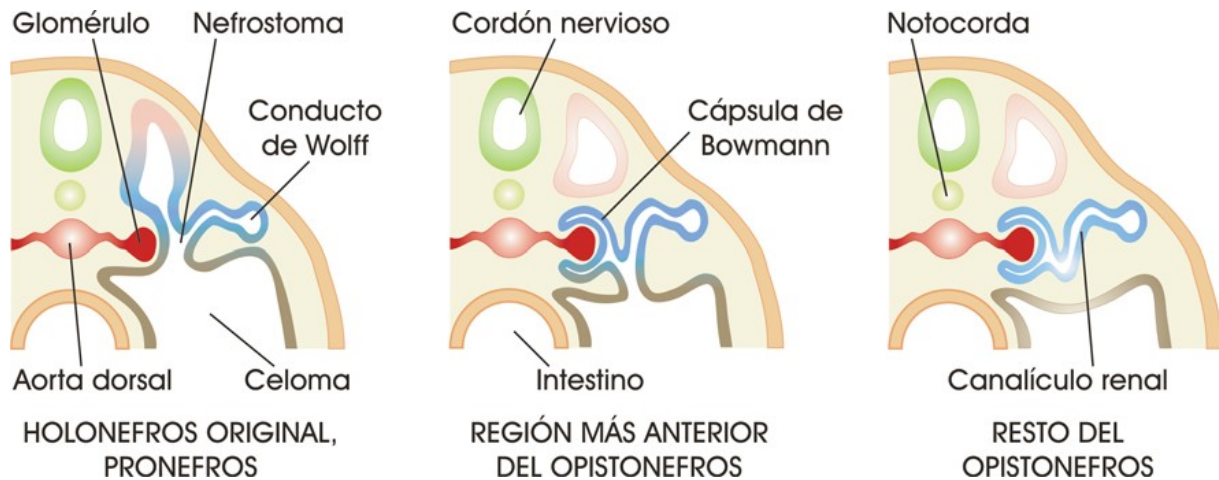


Figura 6.24. Corte transversal de vertebrados a distintos niveles para representar la unidad estructural de los riñones. (La parte superior de la imagen representa la región dorsal del animal.) En el **pronefros** los túbulos de cada segmento del cuerpo, unidos al conducto de Wolff, se abren directamente al celoma, donde recogen el filtrado glomerular; los túbulos más anteriores del **opistonefros** aún conservan la comunicación celómica, aunque ésta desaparece a medida que se desarrolla la cápsula de Bowman.

Los anfibios adultos presentan un mesonefros a lo largo de toda su vida; por el contrario, en los reptiles, aves y mamíferos, el mesonefros es el riñón funcional del embrión, y poco antes o después del nacimiento es sustituido por el metanefros.

La principal característica del metanefros es que ya no se abre al exterior a través del conducto de Wolff, sino a través de un nuevo conducto llamado **uréter**, que en reptiles y aves desemboca típicamente en el seno urogenital, en los que confluye también los conductos reproductores, y dicho seno desemboca a su vez en la cloaca. Estos animales producen una orina semi-sólida que se mezcla con las heces en la cloaca.

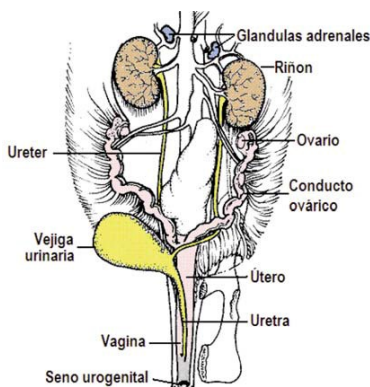


Figura 6.25. Principales órganos que componen los aparatos excretor y reproductor de los mamíferos (hembra de gato, *Felis catus*).

En otros reptiles, y en casi todos los mamíferos, hay una **vejiga urinaria** cerca del extremo posterior del uréter, en los que se almacena la orina. En la mayoría de los mamíferos la cloaca desaparece; sin embargo, en las hembras de los mamíferos la vagina y la uretra se abren generalmente de forma conjunta en un **seno urogenital** (figura 6.24), aunque algunos grupos (por ejemplo, en roedores y primates) presentan la separación de las aberturas vaginal y urinaria, por lo que la vejiga urinaria se continúa con un conducto de salida al exterior, la uretra, que tiene en este caso una función exclusivamente urinaria.

Asimismo, en las hembras de los mamíferos el mesonefros degenera y el conducto de Wolff desaparece casi por completo; pero en los machos subsiste como conducto de evacuación de espermatozoides, y converge con el conducto excretor formando la uretra, que termina en un orificio urogenital único.

2.5. Anatomía del riñón de los mamíferos

El riñón de los mamíferos en algunos grupos (pinnípedos, cetáceos, úrsidos y bóvidos) está más o menos lobulado, pero en la mayoría es compacto y presenta dos zonas claramente diferenciadas: una más externa, la **corteza** y otra interna, la **médula**; la corteza se extiende hacia el interior del órgano en forma de columnas (las denominadas columnas de Bertin), que están situadas entre las unidades individuales de la médula. Ésta está formada por una serie de estructuras cónicas llamadas **pirámides renales** o de Malpighi, cuya base está en continuidad con el límite interno de la corteza y su punta se continúa con los llamados **cálices menores**. Varios cálices menores convergen y forman un **cáliz mayor**; estos, a su vez, confluyen en la denominada **pelvis renal**, situada en la parte más interna del riñón, que se continúa con el **uréter**:

La sangre entra al riñón por la **arteria renal**, procedente de una rama de la aorta descendente, y se va ramificando, formando numerosas **arteriolas aferentes**; estas, a su vez, darán lugar a los capilares (recuérdese que únicamente tiene lugar el intercambio de sustancias en estos vasos sanguíneos) que originan el **glomérulo**. Dichos capilares se reúnen y originan las **arteriolas eferentes**, que vuelven a capilarizarse para aportar al riñón el oxígeno y los nutrientes necesarios para su función. Finalmente, los capilares se van agrupando para formar la **vena renal** que, a su vez, vierte en la vena cava inferior.

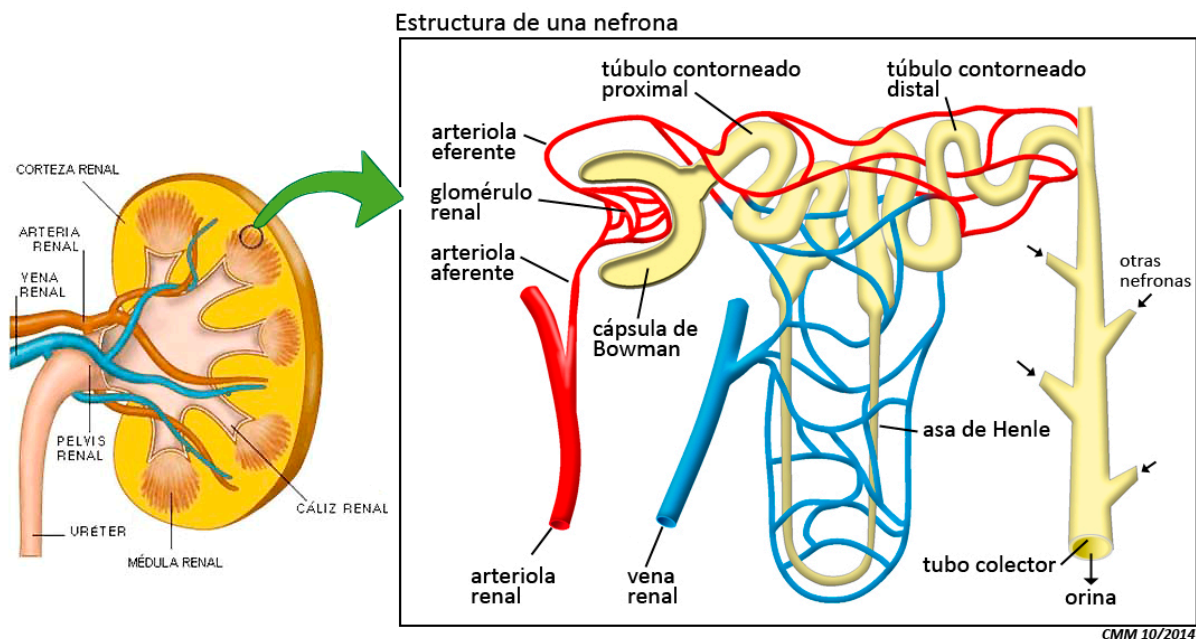


Figura 6.26. Esquema de un riñón tipo metanefros y de una de sus nefronas.

Al microscopio se puede observar que el riñón está constituido por un gran número de **nefronas**. Como se ha explicado anteriormente, cada nefrona presenta una cabeza globosa denominada **corpúsculo de Malpighi** (formada, a su vez por la cápsula de Bowman y por el glomérulo); todos los corpúsculos de Malpighi juntos constituyen la zona cortical. De cada cápsula parte un largo conducto denominado **túbulo renal**.

Los túbulos renales presentan distintas partes: el **túbulo contorneado proximal**, que continua por un tramo recto o descendente y de menor calibre, dirigido, hacia la médula renal en donde forma el **asa de Henle**, y retorna en sentido opuesto por medio de otro tramo recto hasta llegar nuevamente a la corteza, donde forma el **túbulo contorneado distal** –los túbulos se reúnen en grupos para formar las pirámides renales de la zona medular. En su tramo final, el túbulo contorneado distal se hace sinuoso y desemboca finalmente en un **tubo colector** en el que también desembocan otros túbulos. El tubo colector se une a otros semejantes y, finalmente, vierten su contenido en los **cálices menores**.

2.6. La formación de la orina

En general, los tetrápodos terrestres han de producir una orina hipertónica, puesto que deben eliminar el exceso de sales y de urea sin perder demasiada agua. En el riñón de los mamíferos, los túbulos renales de las nefronas atraviesan alternativamente una región isotónica (la **corteza renal**) y otra hipertónica (la **médula**), lo que les va a permitir formar una orina concentrada. La formación de orina tiene lugar en cuatro etapas:

- 1. Filtración.** La sangre procedente de la arteria renal llega al corpúsculo de Malpighi; debido a la presión sanguínea, se produce un filtrado del contenido de los capilares del glomérulo, y casi todo el plasma sanguíneo, excepto las proteínas de elevada masa molecular y las células sanguíneas, pasa a la cápsula de Bowman. El líquido filtrado está formado básicamente por agua, iones, glucosa, urea y aminoácidos.
- 2. Reabsorción de solutos y de agua.** El líquido filtrado discurre por el túbulo contorneado proximal que se encuentra rodeado de capilares (capilares peritubulares). Estos reabsorben las sustancias útiles, como glucosa, gran parte de los iones, aminoácidos, vitaminas...; el agua pasa a los capilares de forma pasiva, obteniéndose finalmente una orina isotónica.
- 3. Secreción de iones y reabsorción de agua.** El organismo ha de recuperar todavía más agua y, para ello, se produce un bombeo de iones cloro y sodio desde la rama ascendente de los túbulos a la descendente en las proximidades del asa de Henle, lo que hace que aumente la concentración en la región descendente del **asa de Henle** y disminuya en la ascendente; al llegar a la parte cortical del túbulo contorneado distal el fluido es hipotónico, por lo que se produce una reabsorción de agua hacia los capilares peritubulares.
- 4. Nueva reabsorción de agua.** En los túbulos colectores se puede reabsorber más agua y distintos solutos en función de las necesidades del organismo y bajo la influencia de la hormona ADH o antidiurética, que regula la concentración de la sangre; si la sangre está más diluida, la ADH hará que se reabsorba muy poca agua y que se forme, por tanto, una orina diluida; en caso contrario, la reabsorción de agua en los tubos colectores es grande.

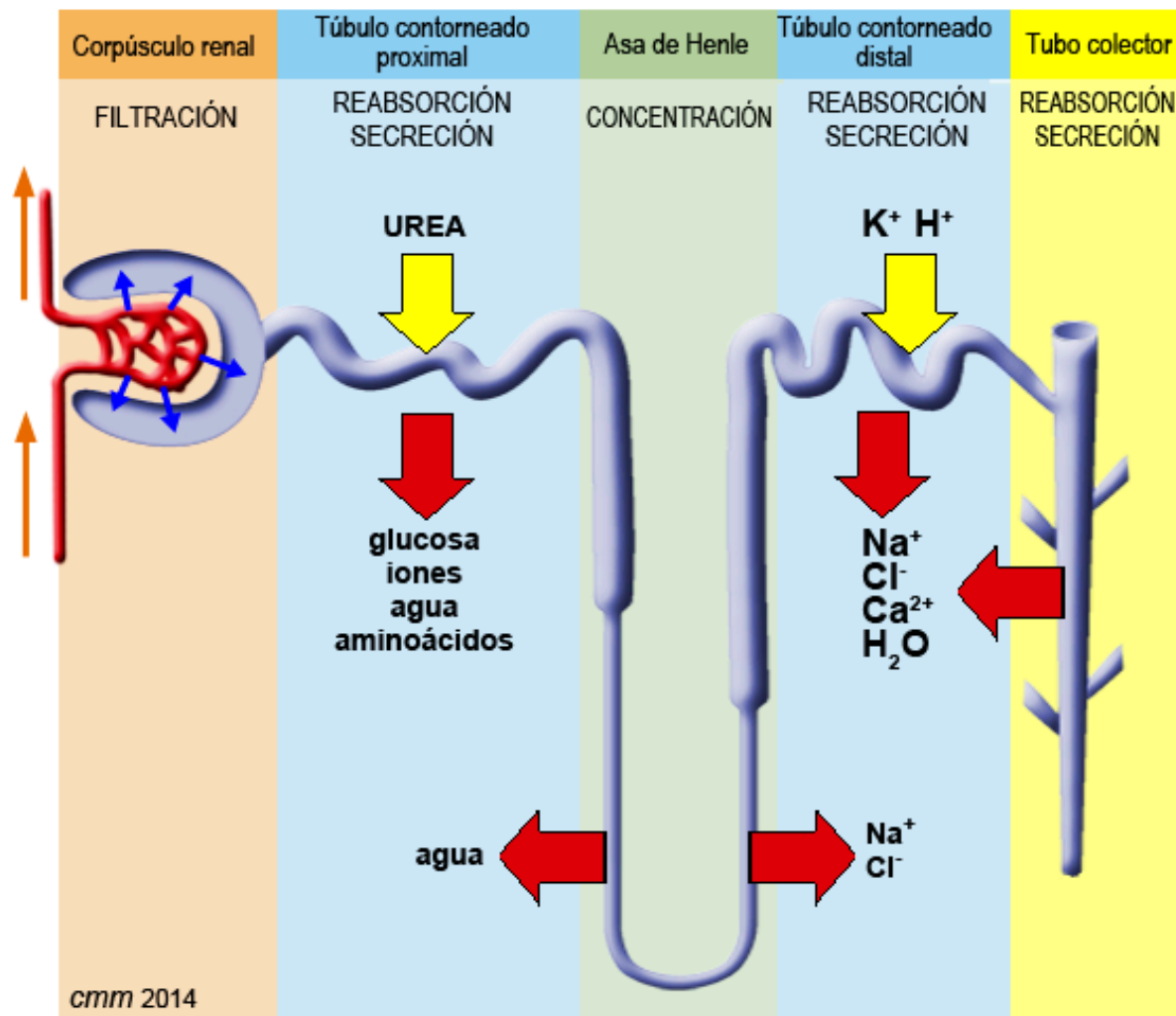


Figura 6.27. Etapas en la formación de la orina a lo largo de la nefrona de los mamíferos (CMM).

Como resultado de todos estos procesos se forma un líquido final con una alta concentración de urea y otras sustancias de desecho que llega finalmente a los uréteres y de allí desciende a la vejiga o a la cloaca, según los grupos de animales. La formación de orina tiene lugar de forma constante, aunque su evacuación sea intermitente.

Por otra parte, los capilares peritubulares terminan confluyendo en la **vena renal**, que sale del riñón llevando sangre libre de residuos.

Resumen

Tanto el citoplasma celular como el medio extracelular en los animales es una disolución acuosa de iones y biomoléculas por lo que hay que regular el equilibrio hídrico e iónico.

El metabolismo celular genera una serie de residuos que es necesario eliminar del organismo para evitar su acumulación o toxicidad.

Los aparatos excretores cumplen dos funciones fundamentales para los seres vivos: regular la osmolaridad de todos sus fluidos con respecto al medio que los rodea, y expulsar los productos de desecho que se forman durante el metabolismo celular.

Para realizar estas dos funciones se han desarrollado una serie de estructuras más o menos complejas como adaptación a las necesidades que los diferentes medios imponen a los animales.

En los vertebrados, los órganos excretores son los riñones, siendo la nefrona su unidad estructural y funcional básica.

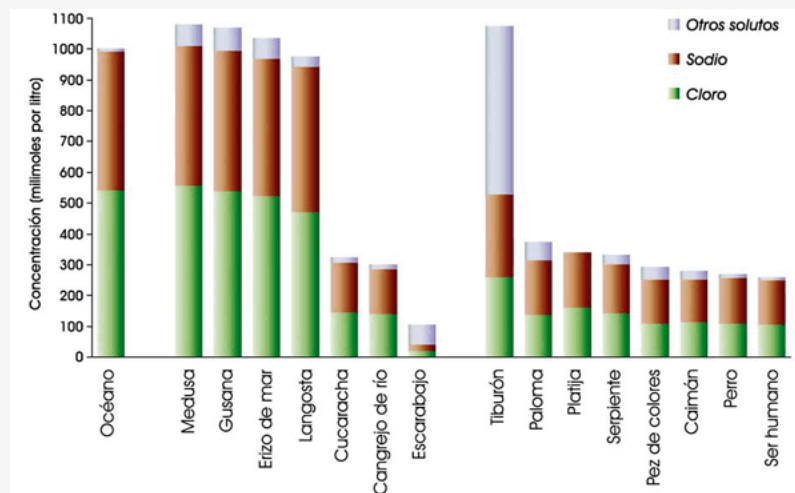
Los productos excretados están muy relacionados con el medio en el que habitan y la disponibilidad de agua que tengan.

La excreción comprende varios procesos: filtración, reabsorción y secreción.



ACTIVIDADES

8. Si los animales acuáticos de la ilustración siguiente fuesen incapaces de controlar el flujo de agua y de sales, ¿qué les ocurriría al situarles en el océano?



9. Explica razonadamente por qué las tortugas marinas eliminan los residuos nitrogenados preferentemente en forma de amoníaco y de urea, mientras que las exclusivamente terrestres lo hacen de forma mayoritaria como ácido úrico y urea.
10. ¿Qué sustancia nitrogenada eliminarán preferentemente una paloma, una carpa, un renacuajo, un anélido marino y una lombriz de tierra? Razónalo.
11. Nuestros glóbulos rojos viejos (con unos cuatro meses de edad) se destruyen en el bazo, el hígado o la médula ósea. Sus moléculas de hemoglobina se convierten en pigmentos como la bilirrubina, que llegan al intestino formando parte de la bilis; finalmente, son eliminados con las heces, a pesar de lo cual decimos que éste es un proceso de excreción, y no de defecación. ¿Por qué?
12. Indica qué tipo de órganos excretores poseen una lombriz de tierra, una mosca, una medusa, una estrella de mar y una gamba.
13. Explica las diferencias que existen entre el pronefros y el opistonefros.
14. ¿En qué sentido se podría afirmar que en los vertebrados hay un “plan de organización”? Relaciona la respuesta con lo que has aprendido acerca de los aparatos digestivo y excretor de estos animales

Solucionario

1. El alimento que ingerimos posee generalmente unas moléculas muy grandes, imposibles de asimilar directamente por las células (que son microscópicas). Para que este alimento pueda ser aprovechado por las células ha de ser degradado por las enzimas digestivas; a esto se le llama digestión. Sin embargo, el agua y las sales minerales son de por sí moléculas muy pequeñas o iones sencillos, y no precisan de digestión.
2. Sobre los glúcidos actúan la saliva (α -amilasa salival) y el jugo pancreático (α -amilasa pancreática). Sobre las grasas intervienen la saliva (lipasa lingual), el jugo gástrico (lipasa gástrica) y el jugo pancreático (lipasa pancreática), además de la bilis. Sobre las proteínas actúan el jugo gástrico (pepsina) y el pancreático (tripsina, quimotripsina). Finalmente, el agua, el calcio y el hierro no precisan de digestión y, por lo tanto, ningún jugo actúa sobre ellos.
3. Se trata de formular una hipótesis (esto es, una conjetura *razonada*, que pueda ser contrastada mediante experimentos u observaciones), no de adivinar una respuesta que, evidentemente, no puede conocerse a partir del texto. Una posibilidad: los placozoos carecen de boca y son aún más simples que las esponjas; su modo de digestión ha de ser incluso más sencillo que el de éstas, así que probablemente tenga lugar dentro de cada célula, que, al estar en contacto directo con el agua, capturarán individualmente el alimento; además, así se ahorrarían un medio de transporte (del que, efectivamente, carecen) para distribuir nutrientes.

Si se ha razonado así, o de forma parecida, se ha construido una hipótesis aceptable (por lo tanto, la actividad estará satisfactoriamente realizada). Otra cosa muy distinta es que la hipótesis sea corroborada por observaciones posteriores y, en este caso, *no* lo ha sido: sabemos que los placozoos contraen parte de su superficie ventral, formando una especie de "estómago" transitorio que envuelve al alimento; a este saco se vierten enzimas digestivas (la digestión es, por lo tanto, extracelular), aunque luego cada célula absorbe individualmente los nutrientes resultantes de la digestión. Una vez más, pues, se confirma que en Biología no hay reglas fijas, y que un mismo problema admite varias soluciones perfectamente válidas.

4. Una sepia es un cefalópodo, que utiliza su "pico de loro" para trocear los alimentos capturados con sus tentáculos. Una ascidia es un urocordado filtrador que lleva hasta su boca agua cargada de alimento y la filtra, reteniendo las partículas nutritivas. Un tigre es un macrófago y utiliza sus mandíbulas provistas de dientes para ingerir a su presa.
5. Las ballenas son micrófagos y, sin embargo, son los animales más grandes del planeta; en cambio, muchos macrófagos son casi microscópicos, como ocurre con algunos crustáceos y arácnidos.
6. El hígado segrega una sustancia, la bilis, que no es una enzima; sin embargo, sirve para emulsionar a las grasas – gracias a que contiene sales biliares que actúan como un jabón natural– y así prepararlas para que actúen sobre ellas las enzimas. Además, el hígado sirve como almacén de muchos nutrientes ingeridos en la dieta, y es capaz de transformar unos en otros (por ejemplo, lípidos en glúcidos). Gracias a ello, los animales que poseen hígado –esto es, los vertebrados– son capaces de recoger el alimento según se absorbe del intestino e ir liberándolo, de modo que la actividad metabólica se ajuste a las necesidades del momento. En invertebrados se produce un mayor aporte de energía tras la digestión, por lo que su actividad metabólica se incrementa rápidamente en ese momento (los nutrientes no se almacenan en ningún órgano para irlo liberando poco a poco, como en los vertebrados), para, posteriormente decrecer.
7. El intestino grueso tiene una gran capacidad de absorción de agua y, por lo tanto, de las sustancias que lleve el agua en disolución (como muchos medicamentos, anestésicos y sedantes).
8. Los invertebrados acuáticos, al ser isotónicos con el agua del mar, no tendrán ningún problema. Pero los vertebrados acuáticos son hipotónicos, por lo que el agua tenderá a pasar al exterior, lo que podría conllevar la deshidratación del animal. La excepción se da en los tiburones, cuyos fluidos corporales son más o menos isotónicos gracias a que retienen altas cantidades de urea y de TMAO en la sangre (El TMAO contrarresta el efecto tóxico de la urea).

9. Las tortugas marinas eliminan el nitrógeno preferentemente en forma de amoniaco, ya que, aunque es muy tóxico, también es muy soluble, y se pueden deshacer de él con facilidad. Las tortugas de agua dulce también producen bastante amoniaco, aunque prefieren la urea por ser soluble en agua y tener escasa toxicidad. Por último, las tortugas terrestres viven en un medio seco y no pueden permitirse el lujo de perder agua en la eliminación de nitrógeno; el ácido úrico es una sustancia semisólida que se forma por precipitación, pues es poco soluble en agua.
10. La paloma produce ácido úrico, lo que en este caso podría representar una adaptación al vuelo, ya que si eliminase otra sustancia más soluble en agua, como la urea, aumentaría el peso y eso representaría un problema para volar. La carpa elimina amoniaco, al estar en contacto directo y constante con el agua. Los renacuajos, al ser totalmente acuáticos, producen amoniaco, a pesar de que los individuos adultos eliminan urea. Los anélidos marinos producen amoniaco, pero en los terrestres (lombriz) se observa una producción importante de urea.
11. La excreción consiste en eliminar los productos de desecho que se forman durante el metabolismo celular, mientras que en la defecación se eliminan los productos que el tubo digestivo no ha podido digerir. Así pues, en el presente caso tendremos que hablar de excreción, ya que la bilirrubina es el resultado del metabolismo de la hemoglobina.
12. La lombriz de tierra excreta por metanefridios, la mosca por túbulos de Malpighi, la medusa y la estrella de mar mediante transporte activo a través de sus células (no poseen ninguna estructura excretora específica), y la gamba por la glándula verde.
13. El pronefros solo se observa en algunos embriones; el opistonefros, en peces y anfibios adultos. En el opistonefros desaparecen generalmente los nefrostomas que posee el pronefros. El opistonefros solo filtra sangre, mientras que en el pronefros, además de la sangre, filtra también líquido celómico.
14. Los aparatos digestivos de todos los vertebrados siguen un esquema común, a pesar de las muy diferentes modalidades de alimentación que se observan en estos animales: en todos ellos consta de un tubo que se abre en ambos extremos del cuerpo, situado en posición ventral, dividido en una serie de sectores (faringe, esófago, estómago, intestino delgado y grueso) a los que se anexan ciertas glándulas (hígado, páncreas). Por su parte, el aparato excretor de todos los vertebrados sigue el mismo plan común [*véanse las figuras 10.30 y 10.31*]; en todos ellos deriva de un holonefros que se extiende de un extremo al otro del cuerpo y que posee túbulos que se abren al celoma y que comunican con el exterior por el conducto de Wolff; las diversas partes del holonefros sufren diversas modificaciones (a veces su desaparición), responsables de los distintos aparatos excretores que podemos observar en los vertebrados.

Aviso legal

Esta unidad utiliza parcialmente contenidos del libro de Biología y Geología para 1º de Bachillerato a distancia (NIPO: 030-13-196-3).

Adaptación: César Martínez Martínez
Asesor Técnico Docente Biología y Geología. CIDEAD, 2015.

La utilización de recursos de terceros se ha realizado respetando las licencias de distribución que son de aplicación, acogiéndonos igualmente a los artículos 32.3 y 32.4 de la Ley 21/2014 por la que se modifica el Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual. Si en algún momento existiera en los materiales algún elemento cuya utilización y difusión no estuviera permitida en los términos que aquí se hace, es debido a un error, omisión o cambio de licencia original.

Si el usuario detectara algún elemento en esta situación podrá comunicarlo al CIDEAD para que tal circunstancia sea corregida de manera inmediata.

En estos materiales se facilitan enlaces a páginas externas sobre las que el CIDEAD no tiene control alguno, y respecto de las cuales declinamos toda responsabilidad.



DIRECCIÓN GENERAL DE
FORMACIÓN PROFESIONAL

