

Tema 1

LA CIRCULACIÓN ES UNA FUNCIÓN VITAL

Todos los seres vivos interactúan con su entorno para incorporar nutrientes y otras sustancias que les sirven para obtener energía y cumplir sus funciones vitales. Una vez incorporadas, estas sustancias son transformadas en otras más sencillas que el organismo utilizará para liberar la energía contenida en ellas, o bien, para integrarlas a sus células. Estos procesos producen residuos que deben ser eliminados para mantener el equilibrio químico de todo el organismo.

Este proceso de llevar o transportar las sustancias a todo el organismo y llevar los desechos hasta los lugares en donde deben ser eliminados se denomina circulación. Esta corresponde a la conducción o transporte de sustancias nutritivas y desechos metabólicos desde y hacia las diferentes células del organismo, en el caso de los seres vivos pluricelulares, o al interior celular, en el caso de los organismos unicelulares.

Desde el punto de vista evolutivo, el sistema de transporte en los seres vivos se relaciona con la complejidad de los mismos y las condiciones ambientales que han enfrentado a lo largo del tiempo y que dieron como resultado el desarrollo de diferentes mecanismos, estructuras o sistemas de circulación o transporte. Por ejemplo, en los organismos unicelulares, como las bacterias y los protozoos, las sustancias circulan en forma más sencilla que en los organismos pluricelulares, porque la distancia entre el lugar por donde ingresan los nutrientes y las otras partes del cuerpo son muy cercanas. Por el contrario, en los organismos pluricelulares hacer llegar los nutrientes a cada célula y, al mismo tiempo, remover de ellas las sustancias de desecho que se generan durante el metabolismo, exigió la formación de estructuras cada vez más especializadas para asegurar la realización óptima de estos procesos.

De otra parte, las condiciones ambientales extremas como el frío intenso también generan otras adaptaciones del sistema circulatorio. Los pingüinos son ejemplo de esta situación. Estas aves tienen un sistema circulatorio que les permite mantener una temperatura corporal estable, debido a que las arterias y las venas de sus extremidades están situadas muy cerca, de tal manera que pueden intercambiar calor.

1.1 Estructuras y mecanismos de transporte

La circulación o transporte de sustancias desempeña un papel fundamental en la homeostasis o equilibrio interno del organismo. Permite la distribución de los nutrientes que se

han obtenido gracias a procesos digestivos, y la circulación de sustancias que el organismo produce y que contribuyen a su adecuado funcionamiento. También transporta las sustancias de desecho hasta los lugares donde deben ser eliminados, y en muchos organismos, contribuye a regular la temperatura corporal.

El transporte de sustancias en los seres vivos se realiza mediante tres estructuras generales: *membrana celular*, *vasos o conductos* (sistema vascular) y *sistemas circulatorios*.

1.1.1 Transporte a través de la membrana celular

Los organismos unicelulares, como las bacterias y los protozoos, y algunos **pluricelulares relativamente simples, como las esponjas de mar**, carecen de tejidos diferenciados. Por esta razón en ellos el intercambio y transporte de sustancias con su medio se realiza a través de la membrana celular. Para este intercambio la célula dispone básicamente de dos procesos: el transporte pasivo y el transporte activo.

El transporte pasivo se realiza sin gasto de energía y puede ocurrir por *difusión simple*, *difusión facilitada* y *osmosis*. La difusión simple es el paso de sustancias de una zona de mayor concentración a una de menor concentración. De esta forma se intercambia el oxígeno y el dióxido de carbono. La difusión facilitada se realiza con la ayuda de proteínas transportadoras que tienen un poro o canal para permitir el paso de iones pequeños como el sodio, el potasio y el cloro. La osmosis es el movimiento de agua a través de la membrana plasmática, que es semipermeable, es decir, que permite el paso de algunas sustancias y evita el paso de otras de manera selectiva.

El transporte activo permite el paso de sustancias o moléculas que no pueden atravesar la membrana celular. La razón puede estar relacionada con el gran tamaño de las moléculas de, por ejemplo, nutrientes como la glucosa y los aminoácidos. También puede deberse a la necesidad de pasar de un sitio de menor concentración a uno de mayor concentración. Este mecanismo implica un gasto de energía y se realiza por medio de *proteínas transportadoras*.

1.1.2 Transporte a través de vasos o conductos

Se realiza a través de conductos o tubos y se denomina sistema vascular. Es propio de las plantas traqueófitas, entre las que se encuentran las gimnospermas y las angiospermas.

1.1.3 Transporte a través de sistemas circulatorios

La mayoría de animales posee un sistema de transporte de sustancias más complejo compuesto por un corazón, vasos sanguíneos y un líquido circulante que, conforma un sistema circulatorio propiamente dicho. El corazón se encarga de impulsar o bombear la sangre a todas las células del organismo. Los vasos sanguíneos son conductos de diverso calibre por donde viaja la sangre. El líquido circulante, generalmente llamado sangre, transporta nutrientes, materiales de desecho y demás sustancias.

1.2 Circulación en organismos unicelulares

Los organismos unicelulares del reino monera, como las bacterias; del reino protista, como los protozoos y las algas; y del reino de los hongos, como las levaduras no tienen sistemas circulatorios especializados. Los nutrientes ingresan a la célula a través de la membrana celular, por medio de los mecanismos de transporte pasivo y activo ya descritos. Cuando las sustancias se encuentran en el interior de la célula, son transportadas al lugar donde se necesitan, gracias a tres tipos de movimientos: *movimientos citoplasmáticos*, *motores moleculares* y *vesículas de transporte*.

1.2.1 Movimientos citoplasmáticos

Son corrientes o movimientos originados en el citoplasma por acción de la entrada y salida de sustancias como el agua. La consistencia líquida del citoplasma facilita este tipo de movimientos. El paramecio, por ejemplo, transporta su alimento en las vacuolas que son impulsadas por movimientos citoplasmáticos alrededor del cuerpo para distribuir sus nutrientes. Luego, la parte que no se asimiló sale al exterior por un orificio de salida, denominado citoprocto. Un movimiento citoplasmático característico de las células vegetales es la ciclosis, que ocurre gracias a los microfilamentos del citoesqueleto.

1.2.2 Motores moleculares

Los motores moleculares son estructuras celulares que están formadas por proteínas que se desplazan por el citoesqueleto, el cual les sirve de soporte. Sujetas al citoesqueleto, se encuentran las proteínas que enlazan los organelos o las estructuras celulares que se van a transportar y las llevan hasta el lugar donde se necesita. Mediante este mecanismo se transportan mitocondrias, lisosomas y filamentos del citoesqueleto, entre otros.

1.2.3 Vesículas de transporte

Son microscópicas esferas que se forman a partir de un compartimiento membranoso y se mueven por las vías del citoesqueleto. Al llegar al lugar indicado, se fusionan con la membrana del compartimiento correspondiente y allí entregan la sustancia que han transportado.

1.3 Circulación en hongos

Los hongos multicelulares, como los champiñones, poseen estructuras denominadas hifas, cuyas paredes celulares tienen unos poros que permiten que el protoplasma fluya entre ellas por difusión.

1.4 Circulación en plantas

Las plantas son organismos autótrofos que fabrican alimentos por medio del proceso de fotosíntesis. Para realizarlo, toman del medio agua, sales minerales y dióxido de carbono que son transformados en materia orgánica, por medio de la luz solar, en presencia de un pigmento llamado clorofila. Como este proceso tiene lugar principalmente en las hojas de las plantas, se requiere que sean transportados los materiales necesarios hasta estos órganos. De igual forma, una vez fabricados los alimentos, es necesario transportarlos a todas las partes de la planta donde se necesitan. El transporte tanto de la materia prima de la fotosíntesis como de los alimentos fabricados, es realizado mediante difusión o por medio de sistemas vasculares.

1.4.1 Circulación en plantas no vasculares

Las plantas no vasculares son aquellas que no poseen sistemas especializados en el transporte de sustancias, como ocurre con los musgos y las hepáticas. Debido a ello el transporte de agua y de sales minerales es realizado directamente por difusión a través de toda su superficie. Este proceso puede producirse gracias a que sus epitelios carecen de una cutícula impermeable que impida la entrada. Al interior, el transporte de sustancias tiene lugar por simple difusión de unas células a otras, y en ocasiones, por transporte activo.

1.4.2 Circulación en plantas vasculares

Estas plantas poseen sistemas vasculares que permiten el transporte de sustancias.

El sistema vascular que transporta el agua y los minerales desde las raíces hasta las hojas se conoce como xilema y el sistema de tubos que transporta el alimento fabricado durante la fotosíntesis desde las hojas hasta las distintas partes de la planta se llama floema. La especialización de cada tipo de conducto evita que las sustancias que se transportan por el floema y el xilema se mezclen. La circulación en plantas

vasculares incluye procesos físicos con funciones muy específicas como la absorción de nutrientes, el transporte de la savia bruta, el transporte de la savia elaborada y la transpiración e intercambio de gases. Las plantas vasculares con semillas son abundantes en la mayoría de ecosistemas.

1.4.2.1 Absorción de agua en las plantas vasculares

La raíz absorbe continuamente el agua que las plantas necesitan para su nutrición. La región de la raíz en la que se absorbe el agua se llama zona pilífera (rica en pelos radicales) y está formada por células epiteliales con pelos absorbentes, cuyas paredes son delgadas, de consistencia mucilaginoso (de apariencia gelatinosa) y carecen de cutícula, lo que aumenta su capacidad de absorción de agua. El agua atraviesa la membrana y penetra en los pelos por osmosis. Algunos factores como la temperatura, la aireación del suelo, la cantidad de agua y la capacidad de retención, afectan el proceso de absorción de agua.

1.4.2.2 La absorción de minerales en las plantas vasculares

Las plantas solo pueden incorporar minerales en forma de iones (partículas cargadas eléctricamente) como potasio (K^+), sodio (Na^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), entre otros disueltos en agua. Este proceso se realiza mediante transporte activo, el cual requiere de la participación de enzimas transportadoras presentes en la membrana plasmática que introducen los iones en las células epidérmicas y en los pelos absorbentes. En muchos casos a través de la membrana se han observado, además, canales iónicos que facilitan el proceso. Existen también mecanismos de difusión e intercambio iónico sin gasto energético.

1.4.2.3 Transporte de la savia bruta

El agua y las sales minerales, al penetrar en las células epidérmicas, reciben el nombre de savia bruta. Esta circula en el interior de la raíz hacia el cilindro central del tallo en donde se encuentran los vasos leñosos que conforman el tejido leñoso o xilema. Estos vasos están constituidos por células muertas, denominadas traqueidas. Estas son huecas, cilíndricas, con gruesas paredes reforzadas por una sustancia denominada lignina y cuyos tabiques de separación entre células han desaparecido o están perforados. La savia bruta asciende por el xilema y llega hasta las hojas, en donde parte del agua se utiliza en la fotosíntesis y otra parte se elimina por transpiración. El transporte hasta llegar a los vasos leñosos se puede realizar a través de dos vías: *simplástica* y *apoplástica*.

- Vía A o simplástica: el agua y los solutos pasan a través de estructuras tubulares que conectan las paredes celulares y el citoplasma de las células adyacentes, conocidas como plasmodesmos. El flujo de agua ocurre mediante osmosis y transporte activo.
- Vía B o apoplástica: el agua y los solutos pasan bordeando paredes celulares y espacios intercelulares mediante difusión simple.

En el transporte ascendente de savia bruta intervienen tres tipos de células presentes en el xilema: las *traqueidas*, los *elementos de los vasos* y las *fibras*. Estas células son capaces de transportar agua y minerales disueltos a muchos metros de altura, en contra de la fuerza de gravedad, en algunos casos, a más de cien metros de altura. Durante mucho tiempo se pensó que las plantas hacían esto empujando el agua desde las raíces; sin embargo, actualmente se sabe que la savia puede recorrer estas grandes alturas gracias a los mecanismos de *cohesión*, *tensión* y *presión radicular*.

1.4.2.4 El ascenso de la savia

El agua (H_2O) es una molécula relativamente sencilla compuesta por dos átomos de hidrógeno, que tienen carga positiva, y uno de oxígeno, que posee carga negativa. Debido a que las cargas de signos opuestos se atraen, el hidrógeno de una molécula de agua es atraído por el oxígeno de otra molécula, mediante puentes de hidrógeno. Este fenómeno se conoce con el nombre de cohesión.

De otra parte, cuando el agua asciende por los vasos conductores del xilema (traqueidas, elementos de los vasos y fibras), también se expone a otra fuerza llamada adhesión, que es la propiedad por la cual se unen las superficies de dos sustancias cuando entran en contacto, la cual se debe a las fuerzas entre las moléculas que interactúan. Como la fuerza de adhesión es mayor que la de cohesión, el agua asciende por el vaso. Este fenómeno se conoce como capilaridad.

La fuerza de adhesión-cohesión entre las moléculas de agua que se encuentran en el xilema es tan fuerte, que el agua se comporta como un "cable" que tiene una resistencia igual a la de un cable de acero del mismo grosor. Estas fuerzas de adhesión-cohesión hacen subir la savia bruta, por la gran tensión que pueden crear gracias a dos fenómenos: la *transpiración* y la *capilaridad*. A medida que el agua se evapora en las hojas por la transpiración, se genera una presión o tensión negativa y, en consecuencia, el agua asciende hacia las hojas, por los vasos del xilema. Esta tensión se transmite a lo largo del sistema vascular, desde el tallo hasta las raíces, haciendo que el agua se mueva como por un efecto de succión.

- Fuerza de tensión y transpiración

En la transpiración de las plantas, la salida del agua genera una fuerza conocida como *tensión*, que es capaz de "halar" toda la columna de savia que viaja por el xilema. Entonces se impulsan las moléculas de agua que circulan a través del xilema hacia las células de las hojas y de ahí a la atmósfera. De la misma manera, la tensión se transmite a través de todo el tallo hacia las raíces, donde permite que el agua pase por osmosis a través del suelo, hacia los tejidos de las raíces y de ahí, al xilema.

■ Presión radicular y ascenso de savia

Es la presión ejercida por mecanismos osmóticos originados por la continua entrada de agua en los pelos radicales, que empujan a las moléculas de agua a ascender. En condiciones normales, esta presión es muy pequeña, pero cuando las condiciones de transpiración son deficientes, la presión de la raíz puede tener importancia. Cuando se corta un árbol, se puede apreciar cómo se acumula agua en la superficie del tronco.

1.4.2.5 Transporte de la savia elaborada

Las moléculas orgánicas fabricadas por las plantas, principalmente glúcidos como la sacarosa, forman la savia elaborada. El transporte de estas sustancias, desde los tejidos productores a todas las partes de la planta, tiene lugar en los *vasos liberianos* o *tubos cribosos*, y en las células acompañantes del *floema*.

Los vasos liberianos son células vivas, alargadas, dispuestas unas a continuación de otras, y cuyos tabiques de separación o placas cribosas están perforadas por poros, lo que permite la circulación de savia de una célula a otra. Los glúcidos y demás componentes orgánicos producidos en el parénquima clorofílico de las hojas pasan por transporte activo a las células acompañantes del floema y, a través de los plasmodesmos, ingresan a los tubos cribosos. Se conocen actualmente dos mecanismos de transporte por el floema: un *mecanismo pasivo* y un *mecanismo activo*.

El mecanismo pasivo se basa en la teoría del flujo de masa. Según esta teoría una diferencia de presión hace que el flujo vaya desde donde hay más sacarosa, es decir, desde los órganos fotosintetizadores (hojas) hacia donde hay menos, o sea los demás órganos (frutos, raíces). El aumento de glúcidos en los tubos cribosos provoca la entrada de agua por osmosis a los plasmodesmos. Como resultado de la entrada masiva de agua, se produce un empuje de la savia elaborada hacia los órganos consumidores, donde pasa, por transporte activo, desde los tubos cribosos hacia las células que la requieren.

El mecanismo activo se basa en la teoría de las corrientes intracitoplasmáticas. Esta plantea que muchos de los compuestos orgánicos pueden transportarse a través del citoplasma de los tubos cribosos con consumo de energía. El

transporte de la savia elaborada es lento, ya que la luz de los vasos cribosos está interrumpida por las placas cribosas, cuyos huecos pueden taponarse y afectar así el transporte. Del mismo modo, algunos factores como la actividad metabólica, la temperatura, la luz y el oxígeno aumentan la intensidad del transporte.

1.4.2.6 Transpiración en las plantas

En las hojas de las plantas se realizan funciones vitales en las cuales son fundamentales los procesos de transpiración y el intercambio de gases. Como se mencionó anteriormente, la transpiración es la pérdida de agua por evaporación, que se produce en las hojas mediante difusión simple.

En la epidermis foliar se encuentran dispersos poros llamados estomas. Son estructuras que se ponen en contacto con el exterior de la hoja y los espacios intercelulares del interior. A través de ellos se produce la mayor parte de la transpiración de la planta. Como se ve en la figura adjunta, los estomas están constituidos por dos células en forma de riñón, llamadas oclusivas, entre las que hay una abertura u ostiolo, que conecta con una cámara subestomática. Los estomas abren o cierran el ostiolo controlando, de este modo, la transpiración. La velocidad de transpiración está regulada por factores como la luz, el viento, la humedad relativa del aire y la temperatura.

La luz produce un incremento en la producción de azúcares producto de la fotosíntesis en las células oclusivas que poseen cloroplastos. La elevada concentración de azúcares provoca la entrada de agua en la célula por osmosis, y por tanto, la apertura de los estomas durante el día. Por la noche los estomas se cierran al disminuir la concentración de azúcares. El viento facilita la eliminación de vapor de agua cercano a la hoja e incrementa la transpiración. La humedad relativa del aire es inversamente proporcional a la transpiración, de modo que si la humedad atmosférica es alta, la transpiración es menor. La temperatura es directamente proporcional a la transpiración. Las temperaturas elevadas aumentan la evaporación del agua, lo que en consecuencia, aumenta la transpiración.

1.4.2.7 Intercambio de gases

Las plantas intercambian dióxido de carbono y oxígeno con la atmósfera. Este intercambio se realiza principalmente, a través de los estomas. A la vez que se realiza el transporte de nutrientes, se realiza la incorporación del CO₂ presente en el aire. Este gas ingresa en la planta cuando los estomas se llenan de agua y se abren para que el dióxido de carbono pase por difusión a las cámaras subestomáticas ubicadas por debajo de cada estoma. Luego este gas se desplaza a los espacios intercelulares y entra en las células del parénquima de empalizada mediante osmosis. Entonces se dirige hacia

los cloroplastos, estructuras en las que se realiza la fotosíntesis. En este proceso se produce oxígeno, que es eliminado a través de los estomas. En los tallos de plantas de más de un año, el intercambio de gases se produce a través de las lenticelas, cavidades del tejido suberoso que comunican el parénquima interno con el exterior.

Tema 2

2. Circulación en animales

Los animales son organismos pluricelulares que, en su mayoría, poseen un sistema circulatorio especializado (aunque algunos carecen del mismo). Esto hace que los mecanismos de transporte de sustancias sean muy diversos.

En los animales el contenido hídrico corresponde a un porcentaje entre el 60% y el 80% de su peso, debido a que tienen los llamados compartimentos hídricos, que son cavidades que almacenan agua. Los compartimentos pueden ser extracelulares cuando rodean las células o intracelulares, cuando se encuentran en el interior de estas.

En vertebrados y algunos invertebrados, como los anélidos, el fluido extracelular se subdivide en *plasma* y *líquido intersticial*. El plasma circula dentro de conductos denominados vasos sanguíneos y el líquido intersticial se encuentra alrededor de las células. La presencia de este líquido pone en evidencia que las sustancias que se intercambian entre la célula y su medio deben atravesar el líquido intersticial.

2.1 Animales sin sistema circulatorio

Los animales relativamente más sencillos, como los pertenecientes a los poríferos, celenterados y platelmintos, no poseen un sistema circulatorio. En estos organismos, los nutrientes y el oxígeno llegan directamente a todas sus células por medio de difusión. Sin embargo, para que esto sea posible, el animal debe ser pequeño y tener pocas capas de células. Estos animales utilizan el medio externo como líquido circulante, ya que el agua aporta alimento filtrable y oxígeno, para bañar los tejidos.

Los poríferos como las esponjas tienen una cavidad gastrovascular y unos poros alrededor del cuerpo que se abren o cierran según la necesidad de incorporar nutrientes y oxígeno, lo cual permite un intercambio permanente de estas sustancias y la eliminación de sustancias de desecho. La difusión del oxígeno se facilita con el movimiento del agua.

Los cnidarios, como la hidra, poseen una estructura corporal en forma de saco, cuya pared posee dos capas de células que rodean la cavidad gastrovascular con función doble: digestión y distribución de sustancias a través del cuerpo del

animal. Tanto la capa celular externa como la interna están bañadas en fluido.

Algunas medusas poseen cavidades gastrovasculares modificadas en canales llenos de agua que se ramifican por todo el animal. Algunas células de estos canales poseen cilios que ayudan a mover el agua y los nutrientes, que ingresan por la boca, desde las bolsas gástricas hacia el resto del cuerpo.

En platelmintos como las planadas, existen cavidades gastrovasculares por medio de las cuales se intercambian materiales con el medio a través de una sola apertura. Su forma plana y la ramificación de la cavidad garantizan que todas las células estén bañadas por el fluido disponible.

2.2 Sistemas circulatorios en los animales

La mayoría de los animales posee un sistema circulatorio especializado para transportar nutrientes y gases respiratorios a todos los tejidos del cuerpo. Tal sistema varía de unos organismos a otros en su complejidad.

■ Organización del sistema circulatorio animal

En general, el sistema circulatorio está formado por el *corazón*, los *vasos* y un *líquido circulante*.

El corazón es un órgano muscular que impulsa los líquidos circulantes por todo el sistema. Existen varios tipos de corazones: *tubulares*, *tabicados* y *accesorios*. El corazón tubular es el más sencillo y está formado por vasos pulsátiles que impulsan los líquidos a través de ondas de contracción peristáltica. El corazón tabicado tiene cavidades llamadas aurículas y ventrículos, separados por válvulas. Los corazones accesorios son corazones que suelen situarse cerca de las branquias y contribuyen con el proceso de oxigenación.

El líquido circulante es el fluido que transporta las diferentes sustancias, ya sea en disolución o unidas a determinados pigmentos respiratorios. Estos son moléculas orgánicas formadas por una proteína y una partícula cargada eléctricamente (ion), que tiene gran afinidad por el oxígeno. Dependiendo del grupo animal, existen diferentes líquidos de transporte:

- La hidrolinfa es un líquido incoloro, que posee una composición de sales similar a la del agua de mar. Contiene amebocitos, células fagocitarias con función defensiva. Este líquido es propio de los equinodermos, como la estrella de mar.
- La hemolinfa es un líquido cuyo pigmento respiratorio es la hemocianina, de color azul, en el cual también hay amebocitos. Es propia de artrópodos, como los escarabajos, y moluscos, como los caracoles.

- La sangre es un líquido que posee hemoglobina (rojo), hemoeritrina (rojo violeta) o cloroclorina (verde) como pigmentos respiratorios. En los vertebrados, la hemoglobina, que posee iones de hierro, se encuentran dentro de células especializadas, denominadas eritrocitos. La sangre es propia de anélidos, como las lombrices de tierra, y de vertebrados, como los mamíferos.
- La linfa es un líquido exclusivo de vertebrados que drena o hace correr los líquidos intersticiales, es decir, aquellos que hay entre las células.

Los vasos conductores son tubos de diferente calibre por cuyo interior circulan los líquidos de transporte a todas las partes del organismo. Estos vasos son de tres tipos: *arterias*, *venas* y *capilares*. Las arterias transportan el líquido circulatorio desde el corazón hacia los demás órganos. Las venas transportan el líquido circulatorio hacia el corazón; y los capilares son vasos muy finos que ponen en contacto las arterias y las venas y llegan a cada una de las células del organismo.

2.3 Tipos de sistemas circulatorios

De acuerdo con la existencia o no existencia de conexión entre los vasos, se distinguen dos tipos de sistemas circulatorios: el *sistema circulatorio abierto* y el *sistema circulatorio cerrado*.

2.3.1 Sistema circulatorio abierto

El sistema circulatorio abierto también es denominado lagunar. Como se ve en la figura 12, en este tipo de sistema circulatorio, el líquido circulatorio llamado hemolinfa circula por los vasos y se vierte en lagunas o espacios denominados hemocele, cuyo volumen ocupa entre el 20% y 40% del cuerpo del animal. De esta forma, el líquido entra en contacto con todas las células y se realiza el intercambio de nutrientes y gases. Posteriormente, el líquido vuelve al circuito a través de otros vasos que lo recogen de esas lagunas. Este tipo de sistema es propio de muchos invertebrados como artrópodos (arañas y mosquitos) y moluscos (caracoles y almejas).

Los artrópodos, como los insectos, tienen un corazón tubular con paredes musculosas, situado en posición dorsal y rodeado de una cavidad pericárdica. La hemolinfa ingresa primero en la cavidad y después en el corazón mediante succión, a través de una serie de orificios u ostíolos provistos de válvulas que impiden su retorno. Las contracciones del corazón impulsan la hemolinfa hacia las arterias, que la distribuyen por todo el cuerpo y la vierten en el hemocele para que, luego, vuelva al corazón por las venas.

Los moluscos tienen un corazón tabicado, situado dentro de una cavidad pericárdica y conectado con vasos que permiten que la hemolinfa entre y salga de él. Habitualmente, el corazón tiene tres cavidades o cámaras, dos aurículas que reciben hemolinfa desde las branquias y un ventrículo que la bombea a los demás órganos corporales. En moluscos terrestres, como el caracol, el corazón tiene solo dos cámaras en el interior de la cavidad pericárdica. Excepto los cefalópodos, todos los moluscos tienen circulación abierta, y la hemolinfa pasa desde el hemocele, que es muy reducido, hacia las branquias, o el pulmón en el caso de los moluscos terrestres, y luego al corazón. No se producen grandes presiones, pues la hemolinfa se saldría de los vasos. Por esta razón, la circulación a través de las branquias es muy lenta y en ocasiones es auxiliada por corazones branquiales.

El sistema circulatorio abierto es poco eficiente, limita las distancias de transporte y, por tanto, influye en el tamaño del animal, que generalmente es pequeño.

2.3.2 Sistema circulatorio cerrado

Los vertebrados y algunos pocos grupos de invertebrados, como los anélidos y los moluscos cefalópodos, poseen un sistema de tubos elásticos o conductos por donde se transporta el fluido circulante, denominado sangre. Los animales de sangre fría no poseen mecanismos para mantener la temperatura constante, sino que generalmente adoptan la del medio ambiente; en cambio, los animales de sangre caliente poseen mecanismos reguladores de la temperatura de su cuerpo y la mantienen constante, independientemente del ambiente que les rodea.

La sangre sale del corazón por estos tubos y después de su recorrido, regresa nuevamente a él sin salirse en ningún momento de los vasos sanguíneos. Este tipo de sistema se conoce con el nombre sistema circulatorio cerrado. En el sistema circulatorio cerrado, las arterias y venas se conectan mediante una red de capilares de paredes muy finas, a través de las cuales se produce el intercambio de sustancias como nutrientes, gases o productos de excreción.

Los sistemas circulatorios cerrados pueden presentar dos tipos de circulación: *simple* y *doble*.

- La circulación simple presenta un solo circuito y la sangre pasa una sola vez por el corazón, al dar una vuelta completa al circuito a lo largo del cuerpo. Se presenta en animales como los peces, los cuales poseen un corazón constituido por un seno venoso, una aurícula y un ventrículo muy musculoso. El seno venoso recoge la sangre del cuerpo que pasa de la aurícula al ventrículo. La contracción de la aurícula impulsa la sangre por el tronco arterial hacia los arcos aórticos, que se hallan en contacto con la arteria aorta, la cual, a su vez, la distribuye por todo el cuerpo del animal.

De esta forma, el corazón impulsa solamente la sangre venosa, nunca la sangre oxigenada.

■ En la circulación doble, como su nombre lo indica el circuito es doble y la sangre pasa dos veces por el corazón, al dar una vuelta recorriendo los *circuitos mayor y menor*. El circuito menor o pulmonar, corresponde al recorrido de la sangre desde que sale del corazón hacia los pulmones donde se oxigena, hasta cuando vuelve de nuevo al corazón. El circuito mayor o sistémico, corresponde al recorrido de la sangre rica en oxígeno desde que sale del corazón y se distribuye por todos los órganos, a los que cede el oxígeno y de los que toma el dióxido de carbono hasta que la sangre retorna al corazón para iniciar nuevamente la circulación menor.

Este tipo de circulación es propia de vertebrados terrestres de respiración pulmonar. Según si ocurre o no ocurre mezcla de ambos circuitos, la circulación doble puede ser *completa* o *incompleta*.

La circulación doble incompleta ocurre cuando hay un solo ventrículo. La sangre rica en oxígeno y la sangre pobre en oxígeno se mezclan parcialmente en el corazón. Se presenta en anfibios y en reptiles, a excepción de los cocodrilos.

La circulación doble completa es el tipo de circulación donde la sangre rica en oxígeno no se mezcla con la sangre pobre en oxígeno proveniente de la circulación mayor, pues existen dos ventrículos. Es propia de cocodrilos, aves y mamíferos.

2.4 Sistema circulatorio en invertebrados

Los moluscos cefalópodos como pulpos y calamares, tienen tamaños mayores que el resto de moluscos y también un metabolismo más intenso. Debido a esto, requieren nutrientes y oxígeno de manera regular y en grandes cantidades. Estos animales presentan un *corazón sistémico* encerrado en un espacio celómico y dos *corazones branquiales*. El corazón sistémico tiene un ventrículo del que parten las arterias principales y dos aurículas que reciben la sangre arterial de las branquias. Los corazones branquiales están situados en las branquias y su función es aumentar la presión sanguínea y bombear sangre hacia las branquias, ricas en vasos capilares para realizar la oxigenación e impulsar nuevamente la sangre al corazón.

Los anélidos son los gusanos segmentados más simples que tienen un sistema circulatorio cerrado, formado por una serie de estructuras diferenciadas (algunas tienen hasta cinco corazones) como órganos de propulsión, arterias de distribución, capilares de intercambio, venas de retorno y sangre. Aunque la estructura es sencilla, el sistema circulatorio de las lombrices permite un intercambio rápido y eficiente de sustancias: un vaso dorsal impulsa la sangre mediante movimientos peristálticos hacia el extremo anterior, donde se encuentran cinco arcos aórticos que envían

la sangre a un vaso ventral, encargado de distribuirla por todo el cuerpo. Entre ambos existen vasos laterales en cada segmento, que unen los dos vasos principales. A partir de estos vasos se desarrolla un amplio sistema capilar. No existe un órgano impulsor exclusivo de sangre, sino que esta se distribuye por todo el cuerpo gracias a los vasos contráctiles. La lombriz no tiene pulmones, así que el intercambio gaseoso lo hace a través de su piel. Debido a su forma de locomoción, que consiste en contraer sus músculos y deslizarse, requiere un sistema circulatorio muy eficiente para nutrir permanentemente a las células musculares. Se ha observado que algunas lombrices son capaces de remover piedras que tienen más de cincuenta veces su masa, o penetrar sin dificultad en terrenos compactados.

2.5 Sistema circulatorio en vertebrados

En los vertebrados, la sangre realiza un gran recorrido por el interior de los vasos. El corazón es un fuerte órgano impulsor que genera mucha presión. Este órgano está formado por potentes paredes musculares y se encuentra en posición ventral, al contrario de lo que sucede en los invertebrados. La principal diferencia que existe entre los distintos sistemas circulatorios de los vertebrados radica en el número de cavidades de su corazón.

2.5.1 Circulación en peces

En los peces, el corazón está dividido en dos cámaras: una aurícula, cavidad que recibe la sangre, y un ventrículo que impulsa la sangre hacia las branquias. En estas últimas, la sangre se oxigena y cede el dióxido de carbono, después recorre la arteria aorta dorsal hacia los órganos. El retorno al corazón se hace por venas que dan a una cámara alargada, el seno venoso, anterior a la aurícula

2.5.2 Circulación en anfibios y reptiles

El corazón de los renacuajos funciona como el de un pez. El corazón de los anfibios adultos es tabicado, es decir, está dividido en dos aurículas y un ventrículo. La aurícula izquierda recibe sangre rica en oxígeno desde los pulmones y la aurícula derecha recibe sangre pobre en oxígeno que proviene desde los demás órganos. De las aurículas, la sangre pasa al único ventrículo que, aunque no está tabicado, por su estructura interna especial, impide la mezcla completa de sangre en su interior. Los vasos que van hacia los pulmones tienen ramas que se dirigen a la piel, donde también se realiza el intercambio de gases con el medio.

El corazón de los reptiles, igual que en los anfibios, tiene tres cavidades, es decir, dos aurículas y un ventrículo. En este grupo, el ventrículo tiene una ligera separación en dos mitades; incluso, en el caso de los cocodrilos, ya existe un

corazón con dos aurículas y dos ventrículos totalmente separados como en las aves y los mamíferos.

2.5.3 Circulación en aves y mamíferos

Las aves y los mamíferos tienen circulación doble y completa. El corazón está dividido en cuatro cavidades: dos aurículas y dos ventrículos. La zona derecha recibe sangre pobre en oxígeno, proveniente de los órganos, y la envía a los pulmones. La parte izquierda recibe sangre rica en oxígeno, proveniente de los pulmones, y la envía a todo el cuerpo. Este sistema proporciona una alta presión sanguínea en todo el recorrido, ya que funciona como si fueran dos bombas independientes. Una de las principales diferencias entre el sistema circulatorio de aves y mamíferos es que en las aves el arco que forma la arteria aorta se dirige al lado derecho del cuerpo y en los mamíferos, se dirige hacia el lado izquierdo.

Tema 3

1. Sistema circulatorio en el ser humano

El sistema circulatorio o cardiovascular es el sistema de transporte por excelencia que garantiza el recambio permanente de sustancias entre las diversas partes del cuerpo. Está compuesto por una bomba impulsora que es el *corazón* (figura 1), una red de conductos transportadores llamados *vasos sanguíneos* y un líquido circulante, que es la *sangre*. Con el sistema linfático conforman el sistema circulatorio, cuyas principales funciones son: permitir el transporte de la sangre oxigenada y otros nutrientes a las células de los tejidos; recoger sustancias de desecho y dióxido de carbono de las células; brindar *inmunidad* al organismo mediante el transporte de células de defensa; ayudar a regular la *homeostasis* —equilibrio del cuerpo— en procesos como el transporte de hormonas y el mantenimiento de la temperatura corporal

1.1 Corazón

El corazón es un órgano muscular que se encuentra en el centro del pecho, detrás y levemente a la izquierda del esternón, entre los pulmones. Está compuesto por tres capas musculares: el *pericardio*, el *miocardio* y el *endocardio*. El pericardio o epicardio es la capa más externa y parece una bolsa con una parte interna llamada pericardio seroso o visceral y una parte externa llamada pericardio fibroso o parietal que contiene el líquido pericárdico, que lubrica y amortigua los movimientos cardíacos.

El miocardio es la capa más gruesa y está formada principalmente por músculo cardíaco. Sus fibras musculares están formadas por fibras más delgadas, llamadas miofibrillas compuestas, a su vez, por unidades musculares llamadas *sarcómeros*, que ocupan el 50% de la masa de la célula Arteria aorta cardíaca. Las miofibrillas contienen miofilamentos formados por proteínas así: los filamentos gruesos por la proteína llamada miosina y los delgados, por las proteínas actina, troponina y tropomiosina, que se entrecruzan en forma de Z, produciendo la contracción del corazón

El endocardio es la capa más delgada e interna del corazón; sus paredes están revestidas por el endotelio, que evita que la sangre se coagule. Dentro del corazón se encuentra una pared muscular denominada tabique interventricular que lo divide en dos lados: derecho e izquierdo, y cuatro cámaras o cavidades; las superiores se denominan aurículas —izquierda y derecha— y las inferiores, ventrículos —izquierdo y derecho—.

Entre las aurículas y los ventrículos existen válvulas que controlan el flujo de sangre en una sola dirección y se denominan válvulas auriculoventriculares. La válvula tricúspide permite el paso de sangre de la aurícula derecha (AD) hacia el ventrículo derecho (VD) y tiene tres valvas u hojas. La válvula mitral o bicúspide permite el paso de la sangre de la aurícula izquierda (AI) al ventrículo izquierdo (VI). La válvula sigmoide pulmonar permite el paso de la sangre del ventrículo derecho (VD) a la arteria pulmonar para llevarla hacia los pulmones donde es oxigenada. La válvula sigmoidea aórtica permite el paso de la sangre del ventrículo izquierdo (VI) a la aorta y, de allí, al resto del organismo (figura 1).

1.1.1 Contracción del corazón

El corazón tiene propiedades eléctricas y mecánicas que permiten su contracción. Un sistema automático dentro del corazón envía impulsos eléctricos a las fibras musculares cardíacas excitándolas para que se contraigan y expulsen la sangre de una cavidad a otra y luego, al resto del cuerpo (figura 2). El tejido muscular se excita porque posee las siguientes características:

- **Inotropismo:** capacidad de contraerse con cierta intensidad.
- **Automatismo o autoexcitabilidad:** capacidad de autoexcitarse de forma automática.
- **Dromotropismo:** capacidad de conducir el estímulo desde la aurícula hasta el resto del corazón en forma ordenada y controlada.

- Cronotropismo: capacidad de latir a una frecuencia determinada

1.1.2 El impulso cardíaco

En la conducción del impulso cardíaco intervienen varios componentes. En primer lugar está el nódulo sinoauricular o marcapasos (SA) situado en la aurícula derecha (AD) donde se une con la vena cava superior. Luego está el nódulo auriculoventricular, que es un punto de conexión del impulso cardíaco situado en la base de la aurícula derecha. Sigue el haz de His o haz auriculoventricular, que es un fino cordón de fibras musculares cardíacas especializadas y tiene la función de transmitir el impulso desde las aurículas a los ventrículos y, luego, las fibras de Purkinje, que son derivaciones del haz de His y que recorren el endocardio ventricular formando la red de Purkinje donde la velocidad de conducción es muy alta.

El impulso cardíaco se origina en el nódulo sinoauricular (SA), luego pasa a la aurícula derecha (AD) y luego a la aurícula izquierda (AI), provocando la contracción de ambas aurículas. Esta frecuencia de disparo es controlada por el Sistema Nervioso Autónomo (SNA). A continuación, la señal eléctrica pasa por las vías internodales al nódulo auriculoventricular (AV) dando origen al haz de His, donde se detiene un momento. Luego envía la señal eléctrica por la aurícula izquierda dos vías que forman a cada lado del corazón la red de Purkinje, donde la velocidad de conducción es muy alta. La suma de estos impulsos estimula la contracción del corazón y el bombeo de la sangre.

1.1.3 Irrigación sanguínea

Para que el corazón pueda contraerse también se requiere la irrigación de un conjunto de arterias denominadas: coronaria derecha, coronaria izquierda y circunfleja, que transportan nutrientes necesarios para su funcionamiento. Además posee un sistema venoso coronario conformado por las venas de Tebesio (cavidades derechas), venas del sistema intermedio (VD), y drenaje venoso del ventrículo izquierdo dado por el seno coronario, que recoge la sangre del miocardio y sus productos de desecho metabólico

1.2 Vasos sanguíneos

El sistema vascular está conformado por una red de vasos sanguíneos cuya función es transportar la sangre por todo el cuerpo. Por medio del sistema circulatorio la sangre es llevada hasta los pulmones para oxigenarse, se distribuyen los nutrientes absorbidos en el intestino delgado y se transportan las hormonas de un sitio a otro del cuerpo. Igualmente el sistema circulatorio transporta los desechos

obtenidos a partir del metabolismo celular hacia los órganos encargados de eliminarlos.

Los vasos sanguíneos están constituidos por tres capas o túnicas: la *íntima*, la *media* y la *adventicia*. La túnica íntima es la capa de revestimiento interno del vaso y está formado por tejido epitelial llamado endotelio; la media que contiene cantidades variables de músculo liso y tejido elástico. La túnica adventicia es la más externa del vaso básicamente conformada por tejido conectivo rico en fibras elásticas y colágeno.

1.2.1 Arterias

Las arterias son vasos sanguíneos con una capa muscular más gruesa que la de las venas (figura 3). En su trayecto, a medida que se alejan del corazón, las arterias se van ramificando y disminuyendo su calibre hasta los vasos más pequeños llamados arteriolas y estos, a su vez, se ramifican en otros aún más pequeños llamados capilares. Su función es transportar la sangre oxigenada, excepto la arteria pulmonar, que conduce sangre sin oxigenar del corazón a los pulmones. Conforme a su morfología las arterias se pueden clasificar en *conductoras*, *distribuidoras* y de *recambio*.

Las arterias conductoras se caracterizan por su mayor grosor. Sus principales ejemplos los constituyen la aorta, la iliaca común, la subclavia y las carótidas. Las arterias distribuidoras poseen un diámetro que varía entre 0,3 mm y 1 cm. Las arterias de intercambio y arteriolas poseen un diámetro entre 250 y 300 micras y su paso de luz es mínimo.

1.2.2 Venas

Las venas son vasos sanguíneos con paredes musculares más finas que las de las arterias pero con un mayor calibre (figura 3). En su trayecto se ramifican en vasos sanguíneos más pequeños llamados vénulas. Como todos los vasos sanguíneos, están compuestas por las tres capas (íntima, media y adventicia), pero estas son de mayor fragilidad y tendencia a colapsarse. Las vénulas se forman en la unión de vasos capilares y su diámetro está en el rango de 10 a 15 micras. Las venas pequeñas miden entre 0,2 y 1 mm de diámetro, las venas medianas entre 1 y 10 mm y las venas grandes, como las venas cava, renales, ilíacas, esplénicas, porta y mesentéricas forman verdaderos troncos. Su función es transportar la sangre sin oxigenar y los productos de desecho del metabolismo celular. La excepción es la vena pulmonar que conduce sangre oxigenada de los pulmones al corazón.

1.2.3 Capilares

Los capilares son vasos sanguíneos que comunican las arteriolas y las vénulas, con las que forman redes capilares. Las paredes de los capilares son muy finas, por ello facilitan el intercambio de sustancias. A través de ellos se filtran el

plasma sanguíneo y sus nutrientes, al igual que dióxido de carbono y otras sustancias de desecho. Los capilares constituyen la unidad funcional del sistema circulatorio. Se distinguen tres tipos de capilares: *continuos*, *discontinuos* y *fenestrados*. Los capilares continuos son los que no presentan perforaciones en su endotelio y su lámina basal.

Principales venas y arterias			
Arterias	Funciones	Venas	Función
Coronarias	Irrigan el corazón.	Cava superior	Recapta la sangre utilizada en la cabeza y los miembros superiores a través de las yugulares y subclavias.
Pulmonar	Sale del ventrículo derecho y lleva sangre a los pulmones.	Cava inferior	Recapta la sangre de las piernas, riñones e hígado.
Aorta	Sale del ventrículo izquierdo y se ramifica en ascendente y descendente.	Subclavias	Transportan la sangre utilizada en los miembros superiores hasta la vena cava superior.
Carótidas	Transportan sangre a la cabeza. Son dos: <i>izquierda y derecha</i> .	Yugulares	Transportan la sangre utilizada en la cabeza hasta la vena cava superior.
Subclavias	Transportan sangre a los brazos.		
Hepática	Lleva la sangre al hígado	Pulmonares	Transportan sangre oxigenada desde los pulmones hacia la aurícula izquierda del corazón.
Vertebrales	Irrigan el cuello y el cerebro.		
Esplénica	Lleva sangre al bazo.	Renales	Transportan la sangre venosa de los riñones hasta la vena cava inferior.
Renales	Transportan sangre a los riñones.	Suprahéptica	Transportan la sangre venosa desde el hígado hasta la vena cava inferior.
Mesentéricas	Irrigan el intestino.	Coronarias	Recoge la sangre venosa del corazón.

Poseen células especiales llamadas pericitos, que regulan el flujo sanguíneo. Los capilares discontinuos son los que presentan perforaciones entre sus células endoteliales y los capilares fenestrados son aquellos en los que sus células endoteliales presentan, en su citoplasma, poros denominados fenestras

Junto a los vasos sanguíneos, el corazón funciona como una bomba electromecánica que expulsa la sangre oxigenada al sistema arterial para su distribución hasta los tejidos; en ellos, el proceso de intercambio de gases y otras sustancias es realizado por el sistema capilar, así como la recaptación de la sangre es llevada a cabo por el sistema venoso.

1.2.4 Principales vasos sanguíneos

Las arterias y las venas tienen una función complementaria; mientras las primeras llevan sangre a todas las células del cuerpo, las segundas se encargan de recaptar la sangre utilizada por ellas. Las arterias y las venas más importantes del cuerpo humano se

1.3 Sangre

La sangre es un tejido líquido compuesto por las células sanguíneas y por el plasma o componente fluido que se renueva permanentemente. Cumple importantes funciones en todo el organismo, por eso se le denomina comúnmente "el fluido de la vida". La sangre transporta los nutrientes que las células necesitan para vivir y el oxígeno que necesitan para poder respirar. En ella también viajan las células de defensa del organismo y otras que coagulan la sangre durante el cierre de las heridas. Las hormonas que se producen en las glándulas, así como muchos de los medicamentos que tomamos para atacar algún problema de salud, utilizan esta vía para llegar a su destino. La cantidad de sangre que tiene una persona se relaciona con su edad, peso, sexo y altura. Una persona adulta tiene un volumen de sangre aproximadamente igual al 7% de su peso corporal.

1.3.1 Plasma

El plasma está constituido por agua, proteínas como albúmina, fibrinógeno y globulinas. El plasma transporta hormonas, metabolitos, catabolitos, oxígeno y dióxido de carbono. Las células sanguíneas son de tres tipos: *glóbulos rojos o eritrocitos o hematíes*, *glóbulos blancos o leucocitos* y *plaquetas o trombocitos*.

1.3.2 Glóbulos rojos

Los glóbulos rojos, eritrocitos o hematíes son células anucleadas de unas siete micras de diámetro, cuyo color rojo se debe a la hemoglobina que contienen. Su función es transportar e intercambiar oxígeno y dióxido de carbono. El 95% de la masa celular del eritrocito está representada por una proteína llamada hemoglobina. Su forma es un disco bicóncavo con una depresión central. La vida media de un glóbulo rojo es de 120 días. En seres humanos se considera normal valores de 4.500.000 a 6.000.000 por mL, en el hombre y de 3.800.000 a 5.000.000, en la mujer. Constituyen el 45% del volumen total de la sangre

1.3.3 Plaquetas

Las plaquetas o trombocitos son pequeños fragmentos de células encargadas de la formación del coágulo —trombo— sanguíneo que, al agregarse al endotelio vascular lesionado, lo taponan. Su número habitual en la sangre es de 200.000 a

400.000 por mm^3 . Tienen una vida media de 8 a 12 días y, una vez envejecen, son destruidas por los macrófagos. Existen además algunos factores de coagulación que son proteínas presentes en el plasma o liberadas desde los tejidos. Las células sanguíneas pueden ser separadas del plasma por centrifugación, y dan como resultado el hematocrito que permite estimar el volumen de células en la sangre.

1.3.4 Glóbulos blancos

Los glóbulos blancos o leucocitos son células incoloras nucleadas con organelos citoplasmáticos en su interior encargados de la inmunidad y defensa del organismo. Incluyen leucocitos tipo *neutrófilos*, *eosinófilos*, *basófilos* según el tipo de pigmentación que adquiera su núcleo, además de *linfocitos* y *monocitos*. El porcentaje total de leucocitos y plaquetas es del 1% del volumen total de sangre. De este 1% los neutrófilos constituyen el 70% de los glóbulos blancos circulantes. Los eosinófilos representan el 3%, los basófilos el 1 o 2%, los linfocitos el 20 o 30% y los monocitos del 3 al 8%.

Los neutrófilos son fagocitos activos y forman parte de la primera línea de defensa contra las infecciones bacterianas.

Los eosinófilos tienen afinidad especial con los complejos antígenos-anticuerpo, y fagocitan el complemento que ellos forman. Intervienen en alergias y en algunas infecciones.

Los basófilos contienen heparina (anticoagulante), histamina (vasodilatadora) y sustancia de reacción lenta que prolonga su acción. Permiten la permeabilidad vascular.

Los linfocitos se relacionan con la respuesta inmune, la cual es de dos tipos: *humoral* y *celular*. La base de la respuesta humoral es la producción de *anticuerpos* y su difusión por los líquidos corporales. Los anticuerpos son armas químicas que los linfocitos B fabrican en respuesta a la presencia de una sustancia extraña, denominada antígeno. La inmunidad celular depende de los linfocitos T, los cuales al reconocer un antígeno, proliferan y liberan factores que promueven la migración de macrófagos y la respuesta humoral.

Los monocitos, al abandonar la sangre, se transforman en macrófagos que destruyen las partículas invasoras.

En general se puede decir que el recuento de leucocitos total es de 5.000 a 12.000 por mm^3 de sangre. Un aumento en su número se conoce como leucocitosis y puede obedecer a procesos infecciosos, estrés físico o emocional; pero si el número disminuye, se conoce como leucopenia.

1.3.5 Formación de la sangre

Los centros especializados en la formación de la sangre se denominan hematopoyéticos y se ubican en la médula ósea, el bazo, los ganglios linfáticos y el timo, principalmente.

Durante la vida embrionaria, los glóbulos rojos se producen en hígado, bazo y médula ósea de manera sincrónica. En el hígado, principalmente, durante el período entre el tercero y sexto mes de gestación y, posteriormente, la médula ósea asume esta labor. El bazo es responsable de mantener la actividad productora de linfocitos durante toda la vida, en tanto que la médula ósea es el órgano hematopoyético por excelencia.

1.4 Dinámica circulatoria

La sangre circula en forma cíclica a través de los sistemas vascular —arterial, capilar, venoso— y linfático.

El sistema arterial transporta sangre oxigenada y rica en nutrientes desde el corazón a todos los tejidos del cuerpo a través de las arterias, arteriolas y capilares. Las arterias están sometidas a alta presión sanguínea y poseen en la salida sistemas valvulares que ayudan a impulsar la sangre. La circulación capilar permite el intercambio de nutrientes, metabolitos y gases, proceso conocido como microcirculación. El sistema linfático regula líquidos al interior de los vasos sanguíneos y en el espacio intersticial, devolviendo el exceso de volumen filtrado hacia la circulación venosa. El sistema venoso facilita el retorno de la sangre desde los tejidos al corazón. El sistema venoso es de baja presión y posee válvulas que facilitan el retorno venoso hacia el corazón y evitan el reflujo hacia el capilar.

1.4.1 El ciclo cardíaco

Cada latido del corazón representa una secuencia de eventos llamada ciclo cardíaco (figura 7). Durante el ciclo cardíaco, el músculo del corazón se relaja y se contrae alternativamente. El corazón bombea la sangre al cuerpo en forma continua en dos fases mecánicas: la sístole y la diástole auricular y ventricular. La diástole corresponde al proceso de llenado de sangre y relajación muscular; mientras la sístole es el proceso de expulsión de la sangre, que es ocasionado por la contracción del músculo cardíaco, lo que origina una presión que se propaga a través de los vasos y demás tejidos. La sangre viaja por el organismo realizando dos circuitos conocidos como *circulación mayor* y *circulación menor*

■ Circulación mayor

La sangre oxigenada ingresa a la aurícula izquierda del corazón a través de la válvula mitral y de allí, al ventrículo izquierdo (VI). Luego, por la arteria aorta, para ser redistribuida por todo el cuerpo. A medida que se aleja del corazón, la aorta se ramifica en arterias más delgadas, luego en arteriolas y, finalmente, en capilares que ponen la sangre al alcance de todas las células del cuerpo. Es a este nivel que ocurre el intercambio de gases, nutrientes y desechos. A medida que se lleva a cabo el proceso de intercambio, la sangre se carga de dióxido de carbono y desechos. Ahora la sangre es enviada por vénulas que se conectan con otras de mayor calibre llamadas venas, que, finalmente, convergen en

dos grandes venas: la vena cava inferior y la vena cava superior, que desembocan en la aurícula derecha del corazón.

■ Circulación menor

La sangre es enviada de la aurícula derecha al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide y, de ahí, pasa a través de la válvula pulmonar hacia la arteria pulmonar para llegar a los pulmones. Allí es donde se oxigena, gracias al proceso de intercambio gaseoso denominado respiración. Una vez la sangre ha sido oxigenada, vuelve a la aurícula izquierda del corazón a través de las venas pulmonares.

1.4.2 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca se puede medir en cualquier arteria de mediano o gran calibre y corresponde al número de veces que el corazón late para enviar sangre al organismo por unidad de tiempo (minuto). Se expresa en contracciones o latidos por minuto y es controlada por el sistema nervioso autónomo (SNA), obedeciendo a estímulos adrenérgicos que aumentan la frecuencia, y a estímulos colinérgicos, que tienen un efecto contrario. Adicionalmente, existen barorreceptores en el arco aórtico y el seno carotídeo, que detectan cambios de presión e informan de esta situación a los centros de control —un aumento de presión arterial brusco conduce a una disminución en la frecuencia cardíaca—; mecanorreceptores, ubicados en la unión de la vena cava y la aurícula derecha, son receptores del volumen y ante un aumento de la presión venosa, informan al sistema nervioso autónomo para que se aumente la frecuencia cardíaca; y quimiorreceptores, ubicados en cuerpos carotídeos y aórticos, detectan concentraciones de CO₂, O₂ e hidrogeniones y envían la información a centros de control que aumentan o disminuyen la frecuencia cardíaca según la información que llegue

1.4.3 Presión arterial

La presión arterial es la fuerza que ejerce la sangre que circula contra las paredes de las arterias o, dicho de otra forma, es la resistencia que ofrecen los vasos sanguíneos al paso de la sangre. Cada vez que se contrae el corazón, aumenta la presión y cuando el corazón descansa, entre latidos, disminuye la presión.

Uno de los exámenes más frecuentes en una consulta médica, es la toma de la presión arterial con un aparato llamado tensiómetro. Con este se pueden observar dos valores: la presión alta o sistólica, que se produce durante una contracción con la reincorporación de la sangre a las cavidades, y la presión baja o diastólica, que se produce cuando el corazón expulsa la sangre del ventrículo izquierdo y descansa entre las contracciones. La presión diastólica en la aorta tiene un valor normal de 80 mm Hg y aumenta hasta 120 mm Hg en la presión sistólica.

1.4.4 Pulso arterial

El pulso arterial es la expansión rítmica de una arteria. Cada vez que comienza una contracción de los ventrículos, se transmite una onda por los músculos de las paredes arteriales y, en algunas partes del cuerpo, se percibe esta onda como una dilatación de la arteria, producto de la expansión y endurecimiento arterial por la eyección de sangre. El pulso puede ser explorado en la arteria radial ubicada en la muñeca, en la arteria humeral ubicada en el brazo, en la arteria femoral ubicada en el pliegue inguinal, en la arteria poplítea detrás de las rodillas, en la arteria pedia ubicada en el dorso de los pies y en las carótidas, ubicadas en el cuello.

Tema 4

Sistema linfático

El **sistema linfático** es un sistema de vasos que se origina en los espacios intercelulares, los cuales contienen líquidos sobrantes del proceso celular. Su función es regular el volumen de estos líquidos, captándolos y transportándolos hasta desembocar en el sistema venoso.

El sistema linfático se compone de una red de *capilares*, *conductos linfáticos*, *ganglios* *ticos*, *senos linfáticos* y *órganos linfoides*:

- **Red de capilares:** son los vasos más finos que cumplen la función de filtrar el líquido intersticial e ingresarlo al sistema linfático, donde recibe el nombre de **linfa**. Poseen válvulas para evitar el retroceso de la linfa.
- **Conductos** linfáticos: son los vasos que transportan la linfa desde los capilares hasta los ganglios linfáticos y, de allí, a las venas.
- **Ganglios** linfáticos: son órganos encapsulados denominados **nodulos** que aparecen en el trayecto de los vasos linfáticos ubicados principalmente en el cuello, las axilas y la ingle, centro del tórax y abdomen, donde se producen glóbulos blancos que se forman por la unión de vasos linfáticos. Su función es filtrar la linfa extrayendo partículas nocivas que, posteriormente, son fagocitadas por macrófagos.
- **Senos** linfáticos: son canales que comunican los ganglios a través de los cuales pasa la linfa.
- **Órganos** linfoides: son órganos encargados de la producción de linfocitos. Entre ellos se encuentran las amígdalas, las adenoides, el bazo y el timo.

2.1 Función de defensa

El sistema linfático reconoce cuerpos invasivos o agentes extraños—antígenos— que pueden ocasionar daño al organismo; para ello provocan una **respuesta inmune** que

involucra células de defensa —linfocitos— cuya función es atacar a los antígenos directamente o a través de agentes tóxicos que se unen al antígeno y lo neutralizan para inhibir su entrada a una célula recurriendo a la fagocitosis o lisis —destrucción—. El **sistema inmune** está presente en todo el cuerpo, incluye un sistema de tipo difuso —sistema linoide—, y otro localizado en los órganos linfoides.

2.1.1 Órganos linfoides

Incluye las *amígdalas*, el *bazo* y el *timo* cuyas funciones son:

- **Amígdalas:** ubicadas a la entrada del esófago. Colaboran con la defensa de la vía aérea superior.
- **Bazo:** órgano localizado al lado izquierdo del abdomen, encima del estómago. Almacena y destruye eritrocitos y plaquetas envejecidas y produce anticuerpos.
- **Timo:** órgano ubicado detrás del esternón y delante de los grandes vasos que emergen del corazón. Involuciona después de la pubertad. Diferencia linfocitos en células T inmunológicamente competentes y mantiene la reserva de los linfocitos en la circulación.

2.1.2 Sistema linfático difuso

Incluye los diferentes tipos de linfocitos presentes en la linfa, líquidos corporales, tejidos conjuntivos, tejidos y órganos linfoides especializados (por ejemplo, el bazo, la médula ósea, las amígdalas, las adenoides, los ganglios) que viajan por el sistema sanguíneo y linfático.

La diferenciación de los linfocitos se hace en el hígado durante la vida fetal, después en el bazo y luego del nacimiento, en la médula ósea donde se diferencian en B o T.

- **Linfocitos B:** se originan en la médula ósea y producen anticuerpos, que son responsables de la respuesta humoral en secreciones.
- **Linfocitos T:** se originan en la médula ósea bajo acción de la hormona llamada *timo-poyetina*.
- **Macrófagos:** son elementos de defensa de corto plazo, capaces de separarse de los tejidos y de adquirir movilidad, de ahí que se puedan ver en el tejido conjuntivo, pleura, sangre, hígado, bazo, meninges, alveolos pulmonares, huesos y demás tejidos.

2.2 Dinámica linfática

Los capilares linfáticos, que se forman entre las vénulas y los capilares, permiten el paso de líquido intersticial al sistema linfático, donde recibe el nombre de linfa, y lo conducen por vasos y conductos linfáticos aferentes hasta los ganglios

linfáticos. Estos filtran la linfa de aquellas partículas nocivas al organismo y sustraen sustancias como proteínas y el exceso de líquido en el espacio intersticial que sirven para el proceso metabólico del organismo. Luego la linfa sale de los ganglios por los vasos linfáticos eferentes con un acompañante más: los *leucocitos productores de anticuerpos*, y continúa su recorrido para pasar finalmente al sistema venoso donde se mezcla con la sangre en el circuito cardiovascular.

El sistema linfático también realiza el transporte de las grasas que han sido absorbidas en el intestino delgado. Esta circulación desemboca por los conductos linfáticos derecho e izquierdo en el conducto torácico a la altura de la unión de las venas yugular interna y subclavia de cada lado del cuerpo.

Los capilares linfáticos son muy importantes en este proceso porque poseen poros, de modo que si se incrementa la presión en el intersticio celular, se favorece la entrada de líquidos y proteínas a su interior.

Todo el proceso de circulación linfática tiene la función de regular la cantidad de líquidos en los vasos linfáticos y en los espacios intersticiales, y devolver el exceso de volumen filtrado por los capilares hacia la circulación venosa.