

## Sistema circulatorio

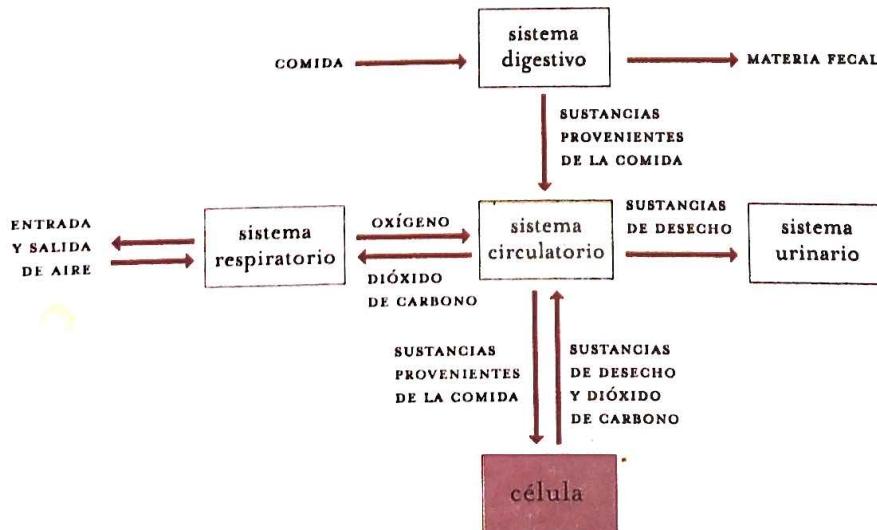
- A partir de la información de esta página y la siguiente, indiquen qué característica permite diferenciar una vena de una arteria.
- Justifiquen a través de un ejemplo la siguiente afirmación: Saber que un vaso sanguíneo es una vena no resulta suficiente para conocer las características de la sangre que transporta.
- De acuerdo con el código de colores que se utiliza para representar las estructuras del sistema circulatorio, ¿qué características tiene la sangre de los vasos representados en el sector ampliado?
- ¿Cómo participa el sistema circulatorio en la nutrición del organismo?

Hasta el momento, se analizó el funcionamiento de dos sistemas de órganos que participan en la nutrición del organismo: el digestivo y el respiratorio. Una de las funciones de estos sistemas se relaciona con el pasaje a la sangre de sustancias provenientes del ambiente. A través del proceso de absorción intestinal, pasan a la sangre moléculas pequeñas que se forman a partir de la digestión de la comida. También el oxígeno del aire pasa a la sangre por medio del proceso de intercambio que ocurre en los alvéolos pulmonares. La sangre circula por todo el organismo transportando las sustancias que contiene hasta las células. Como resultado de las actividades celulares, se producen sustancias, algunas de las cuales constituyen desechos que deben eliminarse del cuerpo y otras cumplen diferentes funciones en el organismo. La sangre, en su recorrido, también recibe esas sustancias y las transporta hacia las estructuras encargadas de eliminarlas, o hacia otras células donde son utilizadas.

## Órganos y funciones del sistema circulatorio

El sistema circulatorio mantiene la sangre recorriendo en forma permanente todo el organismo. Esta función es llevada a cabo por el corazón y una serie de conductos denominados, en general, "vasos sanguíneos". El corazón es un órgano hueco, con la capacidad de contraerse rítmicamente. Los vasos sanguíneos están conectados al corazón y son de dos tipos: las arterias, por las que la sangre circula desde el corazón hacia las células, y las venas, por las que la sangre retorna al corazón.

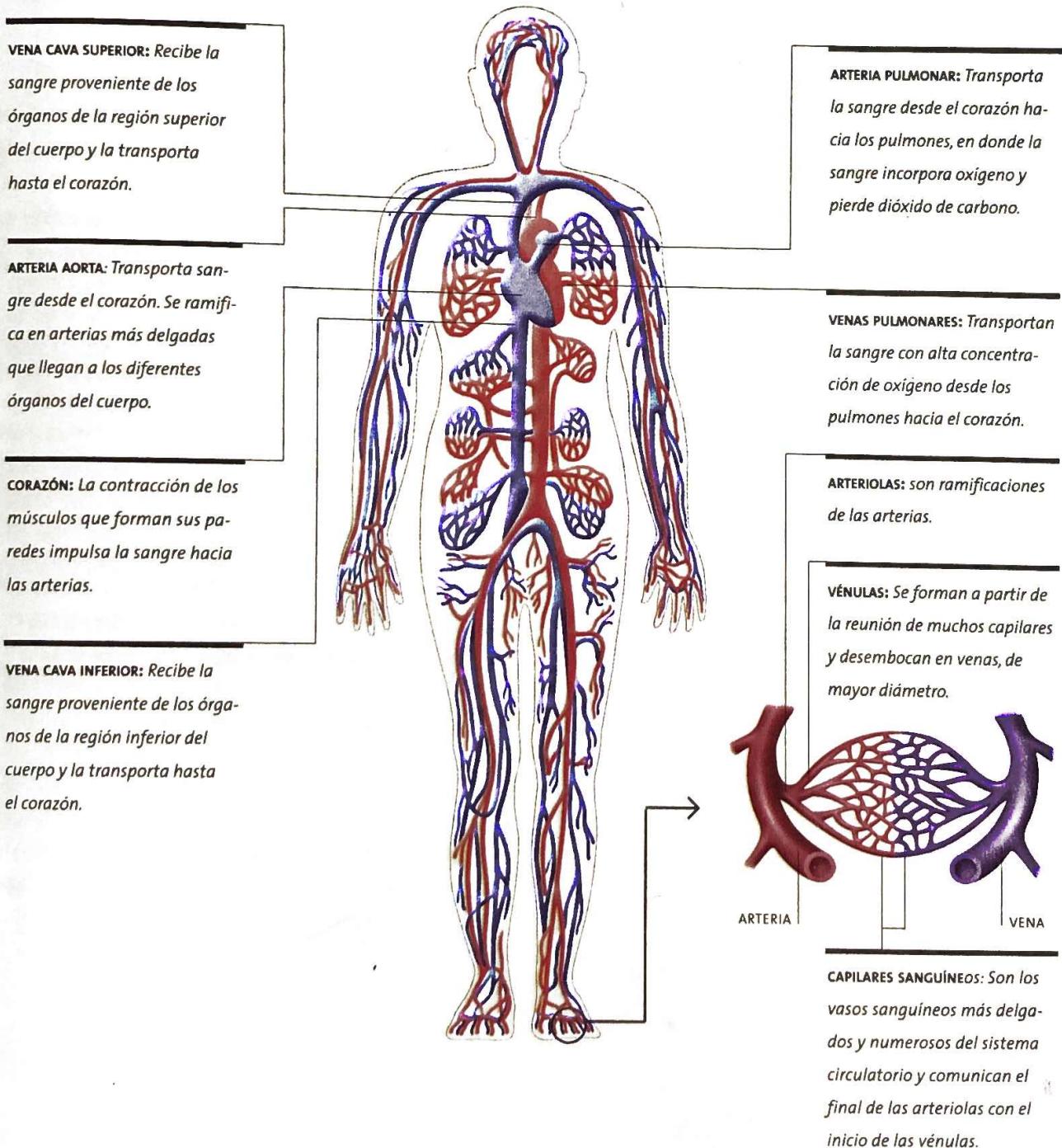
El corazón, al contraerse, impulsa la sangre hacia las arterias. Éstas se ramifican en vasos cada vez más delgados hasta formar las arteriolas, que también se ramifican en una gran cantidad de capilares. Los capilares se distribuyen entre las células y, a través de sus paredes, las sustancias contenidas en la sangre pasan a las células y las sustancias que ellas producen pasan a la sangre. Desde los órganos, la sangre retorna al corazón por vasos de diámetro pequeño denominados "vénulas", los cuales se reúnen formando venas de mayor diámetro. Éstas, finalmente, desembocan en el corazón. Allí, con una nueva contracción, la sangre vuelve a ser impulsada y reinicia su recorrido.



Esquema que muestra cómo se relacionan los demás sistemas que participan en la nutrición a través del sistema circulatorio.

## SISTEMA CIRCULATORIO

En las ilustraciones que representan el sistema circulatorio, se emplea un código de colores relacionado con la composición de la sangre. Por las estructuras representadas en color azul circula sangre que contiene una alta concentración de dióxido de carbono y por las estructuras representadas en color rojo circula sangre con alta concentración de oxígeno.



## La sangre: un tejido que circula por el cuerpo

El organismo de un adulto contienen alrededor de 5 litros de sangre. Ésta está constituida por un componente líquido denominado "plasma", en el cual se encuentran flotando o en suspensión tres tipos de células: los glóbulos rojos o eritrocitos, los glóbulos blancos o leucocitos y las plaquetas.

El 90% del plasma es agua, con la cual se mezcla la mayoría de las sustancias que circulan por el organismo. Algunas de esas sustancias son utilizadas por las células; otras son sustancias de desecho que serán eliminadas al ambiente. También forman parte del plasma algunas sustancias relacionadas con la función de proteger al organismo contra enfermedades (anticuerpos) y otras asociadas con la función de transmitir mensajes entre las células del cuerpo (hormonas).

**El texto hace referencia a los componentes y las funciones de la sangre.**

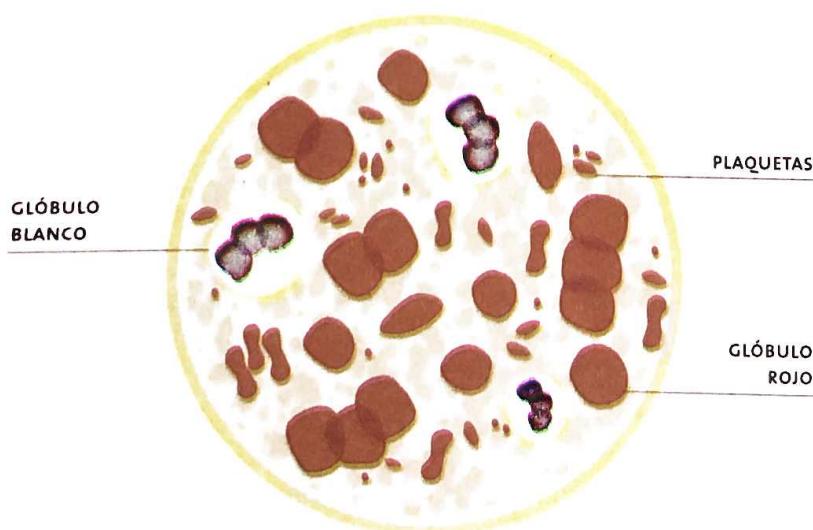
**■ ¿Qué características de la sangre se relacionan con la función de nutrición del organismo?**

**■ La sangre tiene otras funciones, además de participar en la nutrición. ¿Cuáles son esas funciones y con qué componentes de la sangre se relacionan?**

Los glóbulos rojos son células que carecen de núcleo y tienen forma de disco biconcavo, es decir que vistos lateralmente son más delgados en su parte central que en los bordes. Las moléculas de hemoglobina que contienen estas células, por su capacidad de unirse a moléculas de oxígeno y de dióxido de carbono, permiten el transporte de esas sustancias en la sangre.

El nombre de "glóbulos blancos" se emplea para designar varios tipos de células que forman parte de la sangre. Todas ellas, si bien presentan algunas diferencias de estructura, tienen en común la función de participar en la defensa del organismo contra agentes productores de enfermedades, como los virus y las bacterias.

Las plaquetas son pequeños fragmentos de células que participan en el proceso de coagulación de la sangre. Dicho proceso interrumpe la salida de sangre de los vasos sanguíneos en caso de rotura de sus paredes. Durante la coagulación, las moléculas de una proteína presente en el plasma adoptan la forma de fibras y constituyen una red. Esta red, en la que quedan retenidas las plaquetas, se denomina "coágulo". Éste actúa como un "tapón" de la abertura en el vaso sanguíneo e interrumpe la salida de sangre.



*El dibujo representa las células presentes en la sangre como se observarían al microscopio.*

Para expresar la composición de la sangre en relación con las células que contiene, se indica el número de cada tipo celular presente en un milímetro cúbico ( $\text{mm}^3$ ) de sangre. Así, en un adulto sano, se consideran normales los siguientes valores: 4.5 a 5.5 millones de glóbulos rojos por  $\text{mm}^3$ , 6.000 a 9.000 glóbulos blancos por  $\text{mm}^3$  y 150.000 a 300.000 plaquetas por  $\text{mm}^3$ .

Como ocurre con la mayoría de las células del organismo, las células de la sangre tienen un tiempo de vida. Así, por ejemplo, se estima que los glóbulos rojos viven alrededor de tres meses y luego son reemplazados por otros nuevos. De ese modo, la sangre mantiene la cantidad necesaria de las diferentes células que la constituyen y, en consecuencia, garantiza que se lleven a cabo las funciones con las que se relacionan.

A excepción del oxígeno y el dióxido de carbono, que son transportados por los glóbulos rojos, las sustancias se transportan en la sangre formando parte del plasma. Algunas de esas sustancias son solubles en agua y otras no lo son. Entre las sustancias que se disuelven, se encuentran la glucosa, los aminoácidos, los minerales y algunas vitaminas y hormonas. También son solubles algunas sustancias de desecho y los anticuerpos producidos por algunos glóbulos blancos. Las sustancias que no son solubles en agua se unen a proteínas presentes en el plasma y así son arrastradas por la circulación. Un ejemplo de esas sustancias es el lípido denominado "colesterol".

La composición de la sangre es de fundamental importancia para que se lleven a cabo todas sus funciones. Pero aun en condiciones normales, diferentes causas determinan variaciones en la composición de la sangre. Así, por ejemplo, la sangre que circula por la aorta hacia las células presenta una elevada concentración de oxígeno (incorporado en los pulmones). Por el contrario, la sangre que circula por las venas cavas desde las células presenta una alta concentración de dióxido de carbono (incorporado desde las células).

También es posible hallar una elevada concentración de sustancias provenientes de la digestión de la comida en la sangre que circula desde el intestino delgado después del proceso de absorción. El tipo y la cantidad de dichas sustancias depende de lo que se haya comido e, incluso, del tiempo transcurrido desde que se consumió el alimento. Así, por ejemplo, a las pocas horas de consumir una comida con abundante contenido de hidratos de carbono, es posible encontrar una alta concentración de glucosa en la sangre. Esto permite interpretar la necesidad de mantener ciertas horas de ayuno antes de someterse a un análisis de sangre, ya que los resultados de dicho análisis podrían resultar muy diferentes según lo que se haya consumido. De este modo, se puede comparar la concentración de glucosa con el valor considerado normal para las condiciones en que se realizó la extracción (80 mg cada 100 ml de sangre).

■ La sangre puede presentar variaciones en su composición. Mencionen una posible causa de dicha variación.

■ ¿A qué se debe el ayuno previo a la extracción de sangre para el análisis de sus componentes?

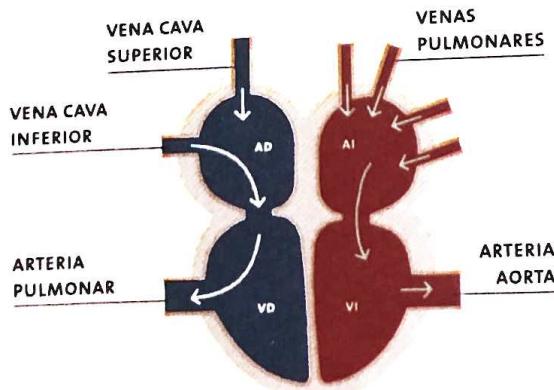
## El corazón: la "bomba" que impulsa la sangre

El corazón es un órgano hueco cuyas paredes están formadas, entre otros tejidos, por una variedad de tejido muscular, sólo presente en el corazón, que tiene la propiedad de contraerse rítmicamente. Así, con cada contracción, las paredes del corazón comprimen la sangre que contiene y la impulsan para mantenerla circulando por el cuerpo. Cuando los músculos se relajan, el corazón aumenta su volumen y permite nuevamente la entrada de sangre en su interior.

El corazón está dividido internamente en cuatro cavidades. Las dos superiores se denominan "aurículas" y con ellas se conectan las venas que llevan la sangre al corazón. Las dos cavidades inferiores se denominan "ventrículos" y desde ellas sale la sangre del corazón a través de las arterias. Para interpretar cómo circula la sangre dentro del corazón, conviene analizar qué ocurre en las mitades derecha e izquierda de este órgano. La ilustración de esta página muestra que sólo las cavidades del mismo lado se comunican entre sí. Los colores utilizados en el dibujo permiten, además, reconocer algunas características de la sangre que circula en cada mitad lateral del corazón: sangre con alta concentración de oxígeno en la mitad izquierda y sangre con alta concentración de dióxido de carbono en la mitad derecha. En cada mitad del corazón, entonces, circula sangre con características diferentes. En la aurícula derecha, ingresa la sangre proveniente de los diferentes órganos, con abundante dióxido de carbono, que sale desde el ventrículo derecho hacia los pulmones, donde se elimina dicha sustancia y se incorpora oxígeno. En la aurícula izquierda, en cambio, llega sangre con abundante oxígeno proveniente de los pulmones y sale desde el ventrículo izquierdo hacia los diferentes órganos del cuerpo.

Las sucesivas contracciones del corazón se conocen como "latidos cardíacos" y determinan que la sangre circule dentro de este órgano como resultado de tres pasos sucesivos: la entrada de la sangre en las aurículas, el pasaje de la sangre de las aurículas en los ventrículos y la salida de la sangre desde los ventrículos.

- ¿Qué cavidades del corazón están conectadas entre si?
- De acuerdo con la información que brindan las flechas ¿a qué cavidades entra la sangre que llega al corazón y de qué cavidades sale la sangre del corazón?
- ¿Cuál es la principal diferencia entre la sangre que circula por las mitades derecha e izquierda del corazón?



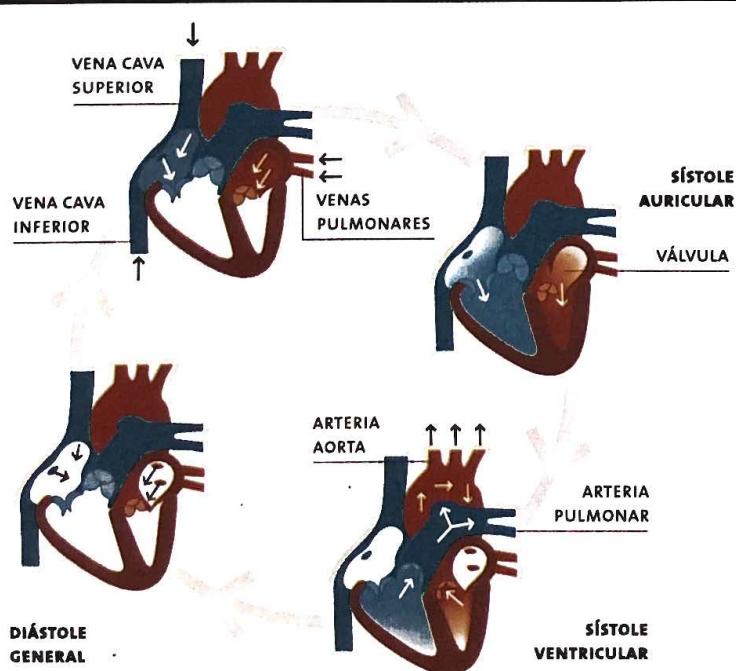
Representación esquemática de las cavidades internas del corazón: aurícula derecha (AD), aurícula izquierda (AI), ventrículo derecho (VD) y ventrículo izquierdo (VI). El dibujo

incluye los vasos sanguíneos que se comunican con cada una de las cavidades cardíacas y las flechas indican el sentido en el que circula la sangre tanto en los vasos como en el corazón.

Las características funcionales y estructurales del corazón permiten una circulación eficiente de la sangre en su interior. Una de las características funcionales es que las paredes de las diferentes cavidades no se contraen al mismo tiempo. Los estudios realizados permitieron reconocer que, en cada latido, las aurículas se contraen primero, permitiendo el pasaje de la sangre hacia los ventrículos. Sólo cuando los ventrículos se encuentran llenos de sangre, se contraen para permitir su salida hacia las arterias. Por lo tanto, cada latido cardíaco comprende la contracción sucesiva de las aurículas y de los ventrículos, y a continuación se produce la relajación del corazón completo. Este mecanismo, que se conoce como "ciclo cardíaco", dura menos de un segundo e impulsa a las arterias alrededor de 70 ml de sangre.

Desde el punto de vista estructural, el corazón presenta diferencias en el grosor de sus paredes. Las paredes de los ventrículos son mucho más gruesas que las de las aurículas, lo que permite impulsar con gran fuerza la sangre desde los ventrículos hacia todo el organismo.

Otra característica estructural del corazón es la presencia de válvulas entre las aurículas y los ventrículos. Del mismo modo que una puerta puede abrirse de un solo lado, las válvulas sólo se abren desde las aurículas. En consecuencia, cuando las aurículas se contraen, las válvulas se abren y dejan pasar la sangre a los ventrículos. Por el contrario, cuando estas cavidades se contraen, las válvulas permanecen cerradas. Así, la sangre puede circular sólo en un sentido y se impide su retorno hacia las aurículas. Este sistema de válvulas también está presente en la unión entre las arterias y los ventrículos. En este caso, las válvulas sólo se abren desde los ventrículos, permitiendo el pasaje de la sangre hacia las arterias.



La ilustración representa los diferentes momentos de un ciclo cardíaco completo. Las etapas de contracción reciben el nombre de "sístole" y los momentos de relaja-

ción muscular se denominan "diástole". Cada latido, entonces, consta de tres etapas sucesivas: sístole auricular, sístole ventricular y diástole del corazón completo.

■ A partir de la información del texto y con apoyo de la ilustración, indiquen lo siguiente:

a. ¿A qué se denomina "ciclo cardíaco"?

b. ¿Qué ocurre en cada etapa del ciclo cardíaco?

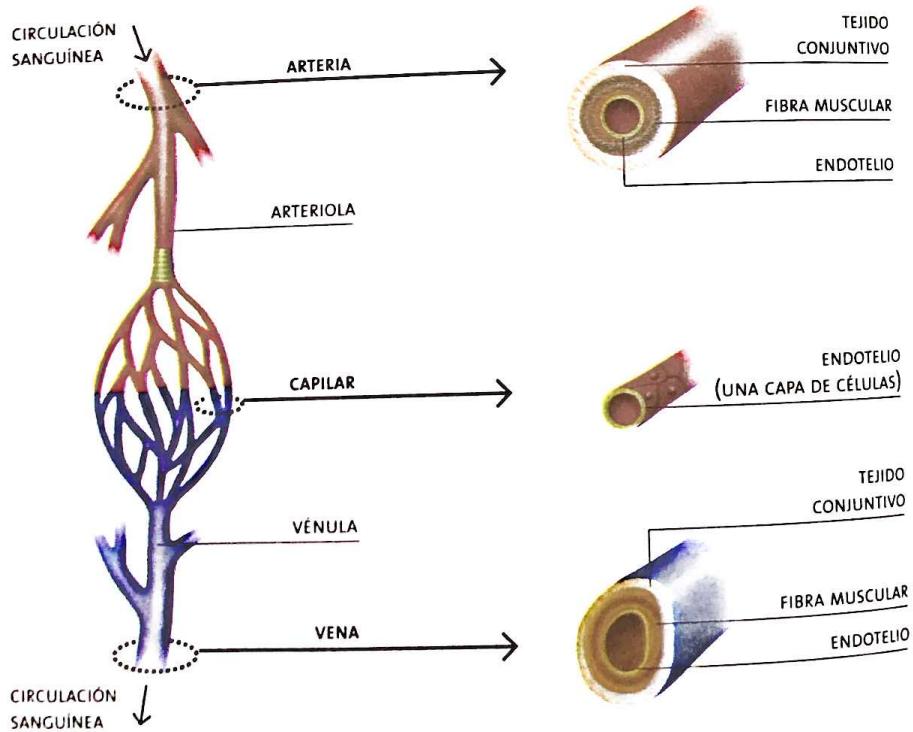
■ Teniendo en cuenta la función de las diferentes válvulas presentes en el corazón. ¿Qué consecuencias tendría una enfermedad que afectara el correcto funcionamiento de las válvulas?

## Los vasos sanguíneos: conductos que transportan la sangre

Si bien suele referirse a la sangre como arterial y venosa, esta denominación puede resultar confusa, ya que no siempre la sangre que circula por las venas posee las mismas características. Lo mismo ocurre con la sangre que circula por las arterias. Así, por ejemplo, la arteria aorta transporta hacia las células sangre con alta concentración de oxígeno. Las arterias pulmonares, en cambio, transportan hacia los pulmones sangre con gran concentración de dióxido de carbono, que se elimina en el ambiente. El criterio para diferenciar una vena de una arteria se vincula a la relación que tienen dichos vasos con el corazón y al sentido de la circulación en su interior.

Independientemente del tipo de sangre que transporten, las arterias y las venas poseen características estructurales particulares. Las arterias tienen paredes gruesas y elásticas, que les permiten soportar la gran presión de la sangre que llega a ellas desde el corazón. Las venas, en cambio, tienen paredes más delgadas y poseen válvulas en su interior. Del mismo modo que las válvulas presentes en el corazón, las válvulas de las venas aseguran que la sangre circule en un solo sentido, en este caso hacia el corazón.

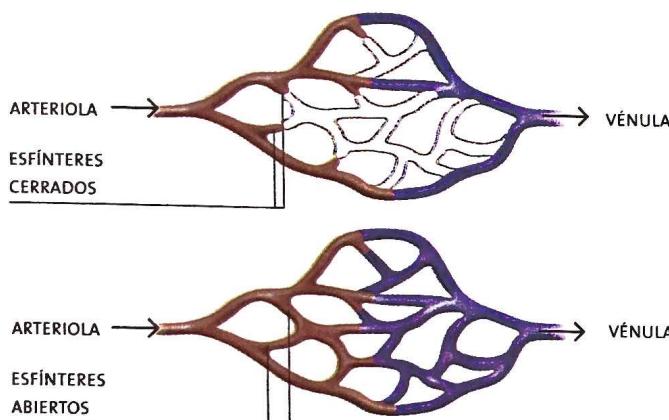
Cuando en el siglo XVII el médico inglés William Harvey reconoció que la sangre circulaba por las venas y las arterias en sentidos diferentes, no logró interpretar en qué punto de su recorrido la sangre deja de alejarse del corazón y comienza a retornar. La explicación se logró al identificar los capilares, cuyas paredes están constituidas por una única capa de células que son atravesadas fácilmente por las sustancias.



Las paredes de las arterias son más gruesas que las paredes de las venas y el conducto interior de las arterias es más reducido que el de las venas. La principal característica de los capilares es que sus paredes están formadas por una única capa de células (el endotelio), lo cual facilita la salida y la entrada de sustancias a través de éstas.

La arteria aorta es el vaso más grueso del organismo: tiene 2,5 centímetros de diámetro. Esta arteria, durante su recorrido, se ramifica en vasos cada vez más delgados. Éstos continúan ramificándose hasta formar miles de capilares que se distribuyen en las proximidades de las células. La sangre impulsada desde el corazón circula por la aorta a una velocidad de 30 centímetros por segundo. Al distribuirse este caudal de sangre, la velocidad se reduce hasta alcanzar medio milímetro por segundo en los capilares. Al circular la sangre lentamente por los capilares, se favorece el intercambio de sustancias con las células. Después de ese intercambio, los capilares comienzan a reunirse desembocando en vasos de mayor diámetro, las vénulas, que a su vez desembocan en venas de diámetro mayor. Las venas cava son las que recogen la sangre proveniente de los diferentes órganos para conducirla hasta el corazón.

Todos los vasos sanguíneos, por contracción y relajación de los músculos de sus paredes, pueden aumentar o disminuir su diámetro. Así, durante un ejercicio físico intenso, aumenta el diámetro de los vasos que llevan sangre a las células musculares permitiendo un mayor aporte de sustancias a dichas células.



*Los capilares pueden aumentar o disminuir su diámetro según las necesidades. También poseen músculos que constituyen estructuras denominadas "esfínteres". Esos músculos, al contraerse, interrumpen el recorrido de la sangre.*

*Por el contrario, al relajarse, los esfínteres permiten que la sangre circule por todos los capilares de la red si se requiere un gran aporte de sustancias a las células.*

■ ¿Qué característica estructural de los capilares favorece el intercambio de sustancias entre la sangre y las células?

■ ¿Con qué mecanismos cuentan los vasos sanguíneos para modificar la cantidad de sangre que llega a los órganos?

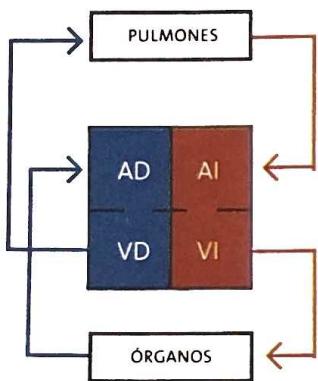
■ Seleccionen un órgano del cuadro presente en esta página y analicen las causas de las diferencias en el aporte de sangre que reciben.

	EN REPOSO	EN EJERCICIO
CEREBRO	700	750
CORAZÓN	200	750
BRONQUIOS	100	200
HÍGADO	1350	600
MÚSCULOS ESQUELÉTICOS	750	12.500

*En el cuadro, se indica el aporte de sangre, expresado en mililitros por minuto, que reciben algunos órganos del cuerpo en condiciones de reposo y de actividad intensa.*

## La circulación: recorrido de la sangre por el cuerpo

El análisis de un esquema simplificado del sistema circulatorio permite reconocer que la sangre realiza un recorrido completo por este sistema pasando dos veces por el corazón. Se puede seguir ese recorrido a partir, por ejemplo, del ventrículo derecho. Desde esa cavidad cardíaca, la sangre recorre dos circuitos:



*Representación esquemática de los circuitos menor y mayor de la sangre. El término "órganos" hace referencia a todos los órganos del cuerpo excepto los pulmones.*

- El circuito o circulación menor va desde el ventrículo derecho hasta los pulmones y desde estos órganos, a la aurícula izquierda.

- El circuito o circulación mayor va desde el ventrículo izquierdo hasta los diferentes órganos y desde éstos, a la aurícula derecha.

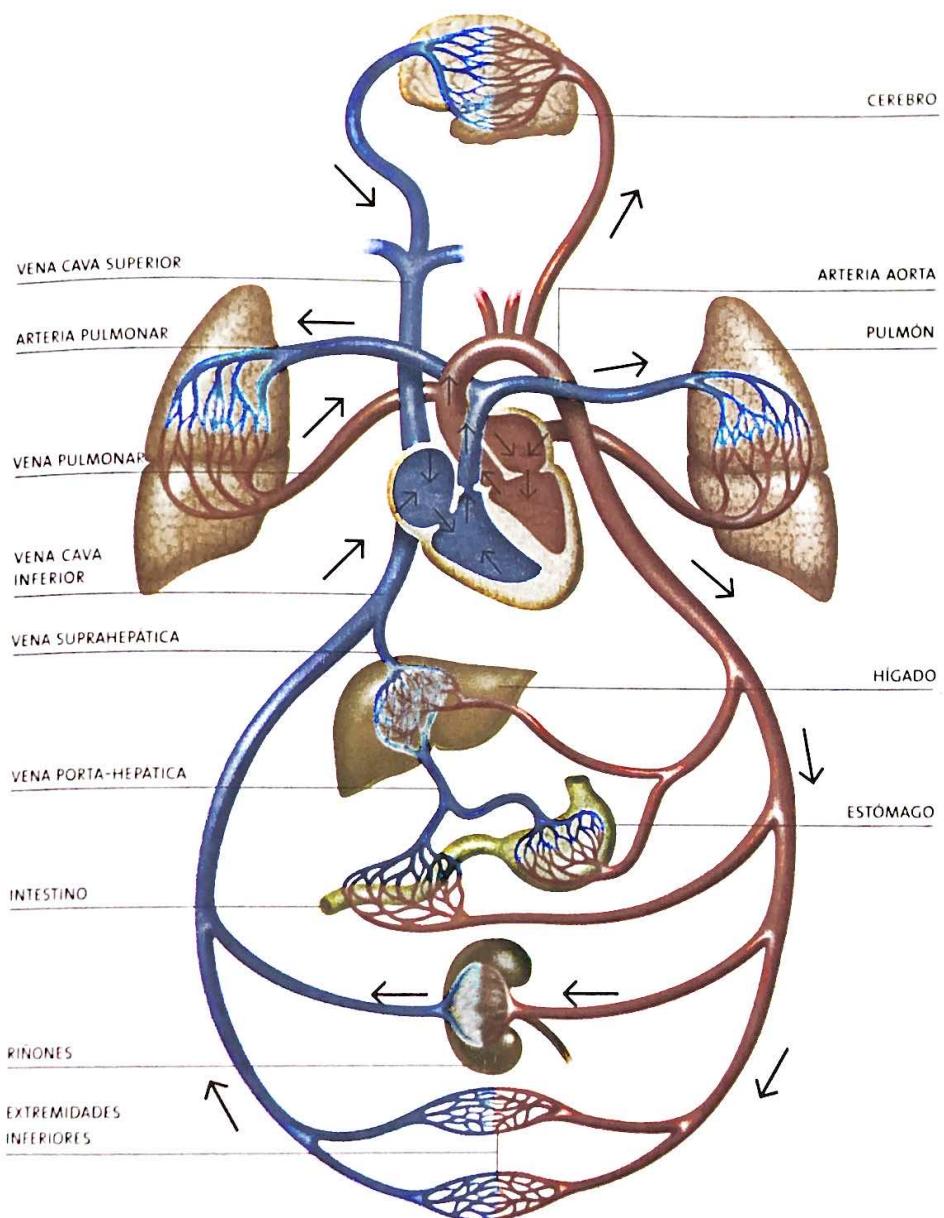
A través del circuito menor la sangre que tiene alta concentración de dióxido de carbono no se dirige a los pulmones, donde elimina dicha sustancia e incorpora oxígeno. Por el circuito mayor, la sangre con alta concentración de oxígeno llega a todas las células del organismo, que toman el oxígeno y vierten a la sangre dióxido de carbono. Ambos circuitos son recorridos simultáneamente.

La ilustración de la página siguiente muestra un esquema más detallado del sistema circulatorio. En él se representan las principales venas y arterias del sistema, así como algunos órganos con la red de capilares que se distribuyen entre sus células. Las flechas indican el sentido de la circulación en los diferentes vasos del sistema. El análisis del recorrido de la sangre en esta representación permite interpretar algunos aspectos importantes del funcionamiento del sistema circulatorio y de las características de la sangre que circula en su interior.

Como se mencionó, la sangre transporta diferentes sustancias: algunas son necesarias para el metabolismo celular, otras tienen funciones de comunicación entre células y otras constituyen desechos que deben ser eliminados del organismo. Es común suponer que esas sustancias circulan "separadas", asociando las venas con los desechos, y las arterias, con las sustancias útiles para las células. Pero la única distinción que puede establecerse se relaciona con la mayor o menor concentración de oxígeno y de dióxido de carbono. Con respecto a las demás sustancias, es posible encontrar tanto las que son aprovechadas por las células como las sustancias de desecho en cualquier punto del recorrido de la sangre.

La vena porta-hepática, por ejemplo, transporta sustancias provenientes de la digestión que fueron absorbidas en el intestino delgado y que, después de pasar por el corazón, llegarán a través de la aorta a las todas las células del organismo. Por otro lado, la arteria que ingresa en los riñones (órganos encargados de la eliminación de desechos) también contiene oxígeno y otras sustancias, como la glucosa, que serán utilizadas por las células del riñón.

Más allá de algunas diferencias, la sangre contiene tanto sustancias necesarias para las células como sustancias de desecho en todos los puntos de su recorrido.



Representación del sistema circulatorio completo. Para simplificar el esquema, se incluyen los principales vasos sanguíneos y algunos órganos, sin respetar ni su ubicación ni la relación de tamaño de éstos.

■ ¿Qué recorrido hacen las sustancias que son absorbidas en el sistema digestivo?

■ En un punto de su recorrido, la vena cava inferior recibe sangre a través de la vena suprahepática. ¿Qué diferencia en la composición de la sangre podría encontrarse si se tomara una muestra antes y una después del punto indicado?

■ El código de colores que se utiliza para representar las estructuras del sistema circulatorio sólo permite asegurar las diferencias en la concentración de oxígeno y de dióxido de carbono que contiene la sangre. Justifiquen esta afirmación.

■ Identifiquen los capilares venosos y arteriales en el pulmón y en el estómago e indiquen las características de la sangre que contienen.

## Manifestaciones del sistema circulatorio

El texto hace referencia a diferentes manifestaciones externas del funcionamiento del sistema circulatorio.

- ¿Qué actividades se ponen de manifiesto a través de los latidos y del pulso? ¿Qué relación existe entre ambos?
- ¿A qué se debe la presión sanguínea y cuál es su importancia?

En el organismo, es posible detectar externamente algunas manifestaciones del funcionamiento del sistema circulatorio: los latidos, el pulso y la presión sanguínea. Los latidos se relacionan con la actividad del corazón. El pulso y la presión sanguínea son manifestaciones de la circulación de la sangre dentro de los vasos.

En condiciones de reposo, el corazón de un adulto produce alrededor de 70 latidos por minuto. Este valor se denomina "frecuencia cardíaca" y puede detectarse con un instrumento especial denominado "estetoscopio" o simplemente apoyando el oído en la zona media del pecho.

Con cada latido del corazón, la sangre fluye a través de las arterias. La fuerza que ejerce la sangre sobre las paredes de las arterias genera una presión que dilata dichos vasos, es decir, aumenta su diámetro. Por lo tanto, cada latido se corresponde con una pequeña dilatación de las arterias, que constituye el pulso. Esta manifestación de la circulación sanguínea se detecta más fácilmente en lugares del organismo donde los vasos se ubican superficialmente debajo de la piel, como las muñecas, las sienes y el cuello. Como el pulso se relaciona con los latidos cardíacos, sus valores resultan similares.

La presión que ejerce la sangre dentro de los vasos sanguíneos favorece su llegada hasta todas las células del cuerpo. Pero dicha presión no debe exceder ciertos valores, ya que podría determinar la rotura de los vasos sanguíneos, en especial los capilares, cuyas paredes son muy delgadas. La presión sanguínea se expresa con dos valores: uno máximo, determinado por la contracción del corazón, y otro mínimo, correspondiente a la relajación del músculo cardíaco. Los valores considerados normales en un adulto están alrededor de 13 y 7 respectivamente.

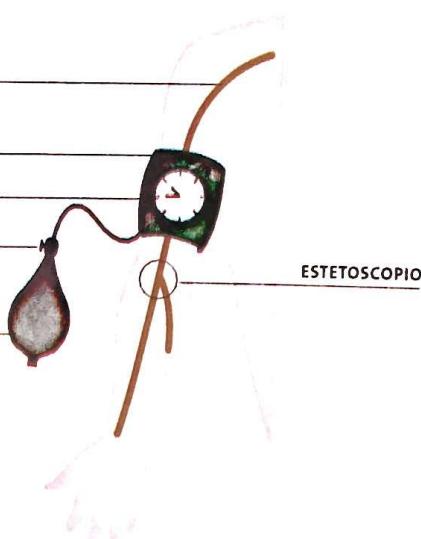
ARTERIA HUMERAL

BRAZAL

MANÓMETRO

LLAVE DE DESCOMPRESIÓN

PERA PARA INFLAR



Para medir la presión arterial, se utiliza un instrumento que tiene un brazalete que se coloca rodeando el brazo. Al inflar el brazalete, se comprimen las arterias del brazo, interrumpeando su circulación. Luego se desinfla lentamente. En el momento en que se comienza a escuchar el pulso a través del estetoscopio, el valor indicado en el manómetro se considera la presión máxima. Al continuar desinflando, deja de escucharse el pulso. El valor medido en ese momento se considera la presión mínima.