

Unidad 5. APARATO CIRCULATORIO



Carmen Ruiz Pérez
Anatomía Aplicada, 1º Bachillerato
IES Margarita Salas

1. Introducción

El ser humano es un sistema abierto, lo que significa que está en constante interacción con el entorno, intercambiando materia, energía e información. Además, los órganos, tejidos y células del cuerpo humano funcionan de manera sistémica, es decir para que funcionen adecuadamente dependen del funcionamiento de los otros y si funcionan mal o no funcionan, afectan el funcionamiento del resto del cuerpo humano.

Cada tipo de célula está especialmente adaptada para realizar una a más funciones concretas, necesitando un aporte continuo de materia y energía. Por otra parte, como consecuencia de su actividad, todas las células producen unos productos finales de sus reacciones químicas que liberan a los líquidos circundantes, bien para realizar una función en otro lugar o como producto a excretar.



En sujetos normales entre 55 y 60% del peso corporal de un adulto, es agua y está distribuido principalmente dentro de las células formando parte del citoplasma o líquido intracelular. Alrededor de un tercio del volumen de agua es extracelular, en ella están los iones y nutrientes que requieren las células para mantenerse vivas. Este entorno de líquido extracelular es lo que se denomina “medio interno”.

Continuamente las células de nuestro cuerpo absorben nutrientes y excretan sustancias de desecho en este medio interno. Este medio proporciona a las células:

- Un medio líquido en el que vivir
- Nutrientes de diversos tipos
- Un lugar donde eliminar sus desechos
- Un medio de comunicación con otras células a través de mensajes químicos (hormonas)

Aunque el ritmo de estos intercambios se ralentiza cuando dormimos, nunca se para, pues si se detiene, morimos. Cada célula del cuerpo realiza estos intercambios con el líquido inmediato que las rodea, llamado **líquido intersticial**, tisular o extracelular, pero de alguna forma se deben renovar los nutrientes y evitar la acumulación de sustancias de desecho. Se hace por tanto necesario la existencia de un sistema que se encargue de la distribución de estos nutrientes para llegar a todas las células del organismo y la retirada de los productos de desecho, siendo este el aparato circulatorio.

El aparato circulatorio es la estructura anatómica que está compuesta por:

-  Sistema cardiovascular
-  Sistema linfático

El sistema cardiovascular tiene como función distribuir los nutrientes y el oxígeno a las células del cuerpo y recoger los desechos metabólicos para después eliminarlos en los riñones a través de la orina, y por el aire exhalado en los pulmones. Está formado por el corazón, que actúa como una bomba que mantiene el conjunto en funcionamiento, los vasos sanguíneos (arterias, venas y capilares), que son los conductos que transportan la sangre y, la sangre, que es el líquido fluido que se encarga del transporte de todas los nutrientes y sustancias de desecho y contiene las células producidas por la maduración de las células madre de la médula ósea.

Por su parte, el sistema linfático es un sistema de transporte que se inicia en los tejidos corporales, recogiendo el exceso de líquido tisular formando la linfa, que circula por los vasos linfáticos y desemboca en la sangre, realizando un trayecto unidireccional. Devuelve así a la sangre sustancias proteicas que por su tamaño no pueden atravesar la pared de los vasos sanguíneos, así como grasas absorbidos por los capilares linfáticos que se encuentran en el intestino delgado.

Así, el líquido intersticial, la sangre y la linfa constituyen el medio interno del organismo.

2. El sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular humano consta de un órgano principal, el corazón, conectado con una serie de conductos, los denominados vasos sanguíneos (arterias, venas y capilares) ampliamente ramificados. Por el interior de este sistema circula un líquido, la sangre, impulsada por el corazón.

Sus funciones son:

- Transporta los nutrientes y el oxígeno por todo el cuerpo, para que, finalmente, estas sustancias lleguen a las células.
- Transporta sustancias de desecho celular y también CO₂ desde las células hasta los órganos correspondientes encargados de su eliminación.
- Conduce las hormonas desde las glándulas endocrinas hasta las células diana sobre las que actúan.
- Función **defensiva**: protege el cuerpo contra agentes patógenos, virus y bacterias, mediante los glóbulos blancos y los anticuerpos.
- Función **homeostática**, es decir, contribuye a mantener constante las condiciones del medio, tanto las propiedades físicas (presión, distribución y ritmo de flujo) como químicas (pH, composición). Por ejemplo, se encarga de regular la temperatura del cuerpo absorbiendo y desprendiendo calor a través del agua que compone la sangre y gracias a procesos de vasoconstricción y vasodilatación.

3. La sangre

La sangre es el único tejido líquido de todo el organismo. En realidad, es un tipo de tejido conectivo en el que las células sanguíneas están suspendidas en una matriz líquida inerte llamada plasma. En el hombre adulto oscila entre 5 y 6 litros de sangre, mientras que la mujer suele tener entre 4 y 5 litros.

Sus funciones son las definidas anteriormente para el sistema cardiovascular, transporte de sustancias, regular la temperatura corporal y la defensa del organismo.

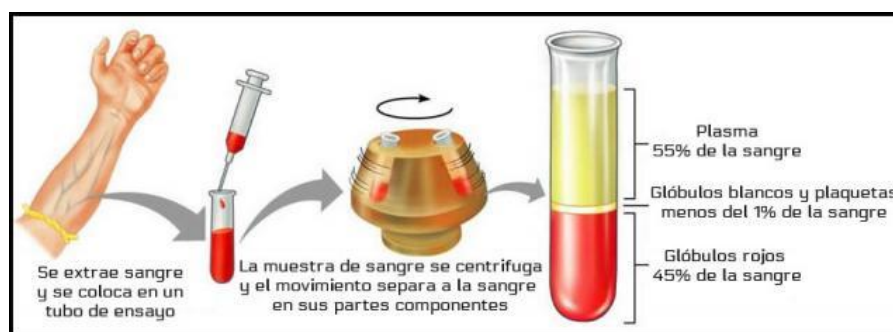
La función más destacada es la de transporte, debido a la variedad de sustancias y con diferentes finalidades. El siguiente esquema refleja algunas de las más importantes:

Tabla 1. Sustancias que transporta el sistema circulatorio en el organismo humano		
Sustancia	Órgano que la obtiene o produce	Destino
Nutrientes digeridos	Intestino	Todas las células. Órganos reserva
Reservas de alimentos	Órganos de reserva (Hígado, etc.)	Todas las células
Oxígeno	Pulmón / Piel	Todas las células
CO ₂	Todas las células	Pulmones / Piel
Hormonas largo alcance	Glándulas endocrinas	Todas las células
Hormonas locales	Células	Células próximas
Desechos metabólicos	Todas las células	Excretor
Restos celulares	Todo el organismo	Excretor
Sustancias defensivas	Células defensivas	Todo el organismo
Sustancias coagulantes	Células productoras	Todo el líquido circulante

Los nutrientes y las sales están disueltos en el plasma; lo mismo sucede con una pequeña cantidad de oxígeno. La mayor parte del oxígeno sanguíneo es transportado en los hematíes como oxihemoglobina. Los desechos de los que deben desprenderse las células son disueltos en el plasma y transportados hasta los órganos excretores. Las hormonas y otras sustancias reguladoras que ayudan a controlar las actividades de las células también se encuentran disueltas en el plasma.

La volemia, o volumen sanguíneo total, es de alrededor del 8% del peso corporal total. Aproximadamente el 55% de la volemia corresponde al plasma y el 45% restante, a las células sanguíneas.

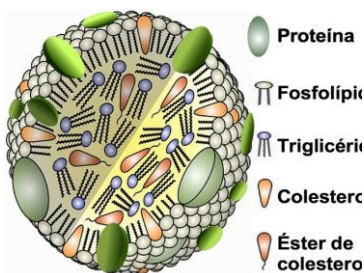
Al centrifugar una muestra de sangre las células, que son más pesadas, quedan en la parte inferior y el plasma asciende a la parte superior. La mayor parte de la masa roja del fondo del tubo está compuesta por los **eritrocitos**, o glóbulos rojos, encargados del transporte del oxígeno. A pesar de que es casi imperceptible para la vista existe una capa delgada y blanquecina llamada *capa leucocitaria* entre los eritrocitos y el plasma que contiene el resto de los elementos celulares, los *leucocitos* y *plaquetas*. Los eritrocitos normalmente representan alrededor del 45% del volumen total de la muestra, un porcentaje conocido como **hematocrito**.



3.1. Plasma sanguíneo

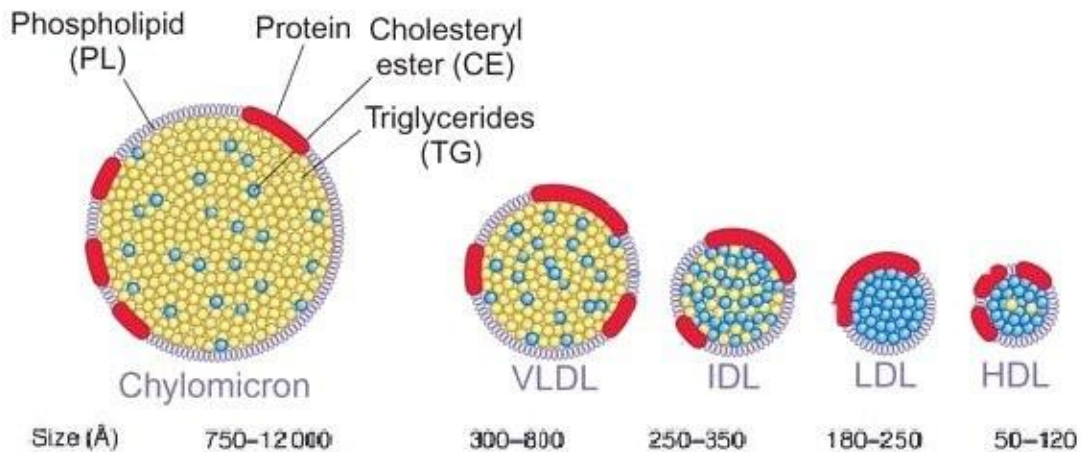
El **plasma** es una solución constituida por un **90% de agua** y un **10% de solutos**. Mas de cien sustancias diferentes están disueltas en este fluido:

- Nutrientes, son los monómeros que han sido absorbidas a través de la pared intestinal, ej. Glucosa.
- Sales minerales en disolución (electrolitos).
- CO₂.
- Hormonas.
- Desechos del metabolismo celular, como la urea.
- Las **proteínas plasmáticas** constituyen la mayor parte de los sólidos del plasma. Muchas de ellas son sintetizadas en el hígado. Las proteínas plasmáticas no son sustancias en tránsito, sino que funcionan dentro del torrente circulatorio.
 - La **albúmina** es la proteína más abundante del plasma. Presenta muchos grupos reactivos en su molécula, lo que explica su capacidad para unirse a una gran variedad de sustancias. A través de la formación de complejos, la albúmina funciona como **transportador** de ácidos grasos, pigmentos biliares, hormonas esteroides, etc. También es la proteína plasmática que más contribuye al mantenimiento de la **presión osmótica**. La concentración de albúmina en el plasma puede verse alterada en procesos patológicos, como la desnutrición, la insuficiencia hepática (en la cual disminuye su síntesis) o la nefrosis (alteración renal que permite su excreción).
 - Las **globulinas** incluye varios componentes. Por ejemplo, en la fracción gammaglobulina se ubican los anticuerpos o inmunoglobulinas (Ig), proteínas encargadas de la defensa específica contra los agentes patógenos. Éstas son secretadas por las células plasmáticas, formadas a partir de linfocitos-B.
 - El **fibrinógeno** constituye entre el 4 y el 6% de las proteínas del plasma. Tiene un papel fundamental en la coagulación. El plasma sin fibrinógeno se convierte en **suero**.
 - Las **lipoproteínas** son complejos que permiten el transporte de lípidos hidrofóbicos en el plasma. Los triglicéridos o ésteres de colesterol, totalmente apolares, se ubican en el centro, mientras que las proteínas y los lípidos anfipáticos, como fosfolípidos y colesterol libre, se ubican en la periferia de las lipoproteínas. Las lipoproteínas se clasifican en función de su densidad:



- Los **quilomicrones** son lipoproteínas grandes con densidad extremadamente baja que transportan los lípidos de la dieta desde el intestino a los tejidos. Contienen una elevada cantidad de triglicéridos.
- Las **VLDL**, lipoproteínas de muy baja densidad, se sintetizan en el hígado y transportan lípidos a los tejidos; estas VLDL van perdiendo en el organismo triacilglicéridos y algunas proteínas y fosfolípidos; finalmente sus restos (**IDL**, lipoproteínas de densidad intermedia) son captados por el hígado o convertidos en LDL.
- Las **LDL**, lipoproteínas de baja densidad, transportan colesterol fundamentalmente a las gónadas (para producir testosterona o progesterona) y a la corteza supra-renal (para producir hormonas esteroideas). Su exceso puede dar lugar a la acumulación en las paredes de los capilares, de ahí que se le haya llamado colesterol malo.
- Las **HDL**, lipoproteínas de alta densidad, tienen un bajo contenido en triglicéridos y colesterol libre. También se producen en el hígado y eliminan de las células el exceso

de colesterol llevándolo al hígado, único órgano que puede desprenderse de éste convirtiéndolo en ácidos biliares.



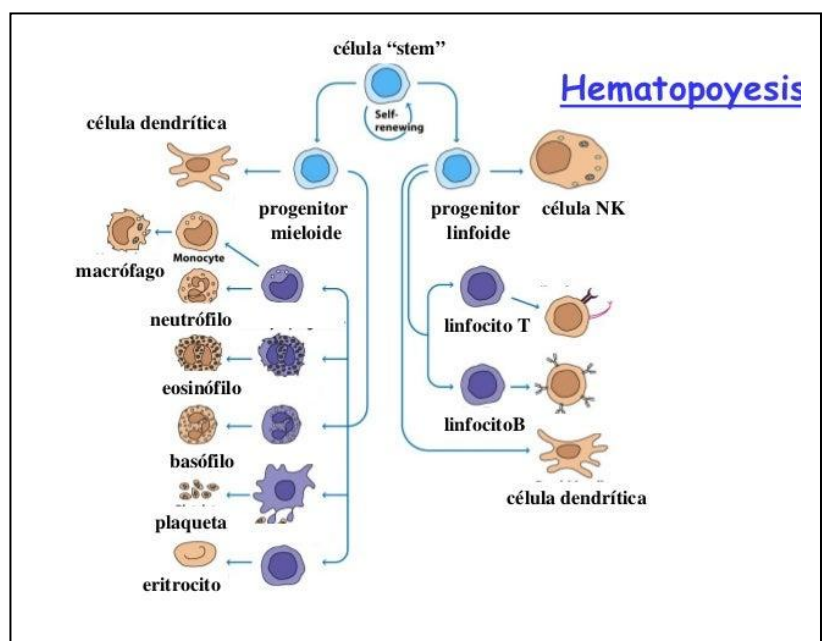
Exceptuando los anticuerpos y las hormonas, la mayor parte de las moléculas que forman parte del plasma se producen en el hígado. Diversos órganos del cuerpo llevan a cabo docenas de modificaciones día tras día para mantener los solutos del plasma en un nivel saludable (homeostasis). Por ejemplo, si la cantidad de proteínas sanguíneas desciende demasiado, se estimula al hígado para que fabrique más proteínas, y si se desequilibra el pH de la sangre (7,35 para la sangre venosa y 7,4 para la sangre arterial) tanto el sistema respiratorio como los riñones se ponen en marcha hasta restablecer un nivel normal.

Junto con el transporte de las diferentes sustancias en todo el cuerpo, el plasma ayuda a distribuir el calor corporal, como subproducto del metabolismo celular, de forma uniforme por todo el organismo.

3.2. Células sanguíneas

Se denomina hematopoyesis o hemopoyesis a la formación de las células sanguíneas. En el feto, los órganos hematopoyéticos son el hígado y bazo. En el niño, las células sanguíneas se originan en la médula ósea, un tejido blando ubicado en las cavidades de todos los huesos. Alrededor de los 20 años, parte de la médula ósea se vuelve inactiva, se infiltra de grasa y se denomina médula amarilla. La médula roja es la parte de la médula ósea que se conserva activa.

La médula ósea activa contiene células madre pluripotenciales que se dividen y se diferencian dando origen a los distintos tipos de células sanguíneas.



- **Los glóbulos rojos**, conocidos también como **eritrocitos o hematíes**, se encargan del transporte de oxígeno gracias a la *hemoglobina*, una proteína de cuatro subunidades que contiene hierro y proporciona color rojo a la sangre. Son células que han perdido el núcleo y la mayoría de los orgánulos; de hecho, los eritrocitos maduros que circulan en la sangre son literalmente “bolsas” cargadas de hemoglobina. Hay entre 12 - 18 g Hb/100 ml sangre, siendo la cantidad en los hombres ligeramente mayor (13-18 g/ml) que en las mujeres (12-16 g/ml). Al ser células pequeñas y flexibles, se deforman para moverse por los capilares. Su forma peculiar con forma de disco bicóncavo (disco aplanado con el centro hundido en ambas caras) proporciona una gran superficie en relación con su volumen, lo cual los hace perfectos para el intercambio de gases.
- **Los leucocitos o glóbulos blancos** son células de mayor tamaño que los eritrocitos, se diferencian bien de estos porque carecen de color. Son las únicas células completas de la sangre, es decir contienen núcleo y orgánulos. Tienen función defensiva, pues gracias a sus movimientos ameboides son capaces de salir y entrar en los vasos sanguíneos, este proceso se llama **diapédesis**. El sistema circulatorio es simplemente el medio de transporte para llegar a las diferentes zonas del cuerpo donde se necesitan sus servicios, en el caso de respuestas inflamatorias o inmunológicas. En el momento en que los glóbulos blancos se movilizan para actuar, el organismo acelera su producción y puede formarse hasta el doble del número normal de glóbulos blancos en pocas horas. Si excede de 11.000 células/mm³ se trata de una **leucocitosis** indicativo de que hay una infección en el cuerpo. La enfermedad contraria, la **leucopenia**, corresponde a un nivel de glóbulos blancos muy bajo y puede estar causada por algunos medicamentos, como los corticosteroides o los agentes anticancerígenos.
Hay varios tipos de glóbulos blancos:

- **Monocitos (macrófagos)**: son grandes, limpiadores de células muertas y cuerpos extraños.
- **Granulocitos**: sirven de defensa frente a microbios, a parásitos. Intervienen en reacciones de inflamación.
- **Linfocitos**: confieren inmunidad. Algunos son células asesinas, otros fabrican anticuerpos.



Tabla 2. Elementos figurados de la sangre en humanos

Tipo celular	Tamaño μm	Concentración (μ/mm^3)	Forma	Función	Vida media
Eritrocitos	6-8	$4-5 \cdot 10^7$	Circulares Anucleados Bicóncavos	Transporte O ₂ Llevar hemoglobina	120 días
Granulocitos					
Neutrófilos	10-12	$2,5-8 \cdot 10^3$	Núcleo plurilobulado	Fagocitosis microbiana	pocos días
Acidófilos Eosinófilos	10-12	50-500	Núcleo bilobulado	Fagocitosis. Reacción alérgica. Histamina. Defensa parasitaria	8-12 días
Basófilos	9-10	25-100	Núcleo redondeado	Inflamación. Anticoagulantes Lleva heparina	
Linfocitos	7-8	$1-4 \cdot 10^3$	Núcleo grande redondeado	Defensa inmune: Anticuerpos Destrucción celular	días a años
Monocitos	14-17	100-700	Núcleo arriñonado	Limpieza restos	meses a años
Trombocitos	2-3	$2,5-4 \cdot 10^5$	Anucleadas	Coagulación	8-12 días

- **Los trombocitos o plaquetas** son fragmentos de células llamadas *megacariocitos*, que al descomponerse forman miles de plaquetas que se sumergen en los fluidos coloidales. Las plaquetas son manchas oscuras de formas irregulares que contienen un factor de la coagulación. Su función es evitar la pérdida de sangre. La coagulación se desencadena cuando se rompe un vaso sanguíneo. Inmediatamente el fibrinógeno se convierte en fibrina; las moléculas de fibrina se unen formando una red tridimensional insoluble en la que quedan atrapadas las plaquetas (**trombo**) impidiendo la pérdida de sangre.

4. Organización general del sistema circulatorio

El sistema cardiovascular está compuesto por una red de vasos de diferentes tamaños (arterias, venas y capilares) que reparten la sangre por todo el cuerpo. El sistema funciona gracias a una bomba (el corazón) que impulsa la sangre por el circuito. Las arterias son vasos de salida del corazón y las venas son vasos de entrada; en los capilares se realiza el intercambio de sustancias.

Básicamente hay dos circuitos: pulmonar y general.

- La **circulación pulmonar** es un bucle cerrado entre el corazón y los pulmones cuyo objetivo es contribuir al intercambio de gases.
- La **circulación sistémica o general** transcurre entre el corazón y el resto de tejidos del cuerpo.

5. El corazón

El corazón humano es un órgano muscular hueco de unos 400 g., formado por cuatro cavidades. Está especializado en el bombeo de la sangre hacia todo el organismo a través de los vasos sanguíneos. Se encuentra alojado en la caja torácica aproximadamente al nivel del quinto espacio intercostal, situado en el mediastino entre los pulmones; detrás del esternón y delante de la columna vertebral. Está colocado de forma que el extremo más puntiagudo, se dirige hacia la cadera izquierda y descansa en el diafragma, mientras que la parte postero-superior más ancha (o base), de donde emergen los grandes vasos del cuerpo, señala hacia el hombro derecho y se apoya debajo de la segunda costilla.

Al abrir la caja torácica el corazón no se ve porque está encerrado en un saco llamado **pericardio**, que es una doble membrana de tejido conjuntivo que protege y une el órgano a las estructuras circundantes, permitiendo su movimiento.

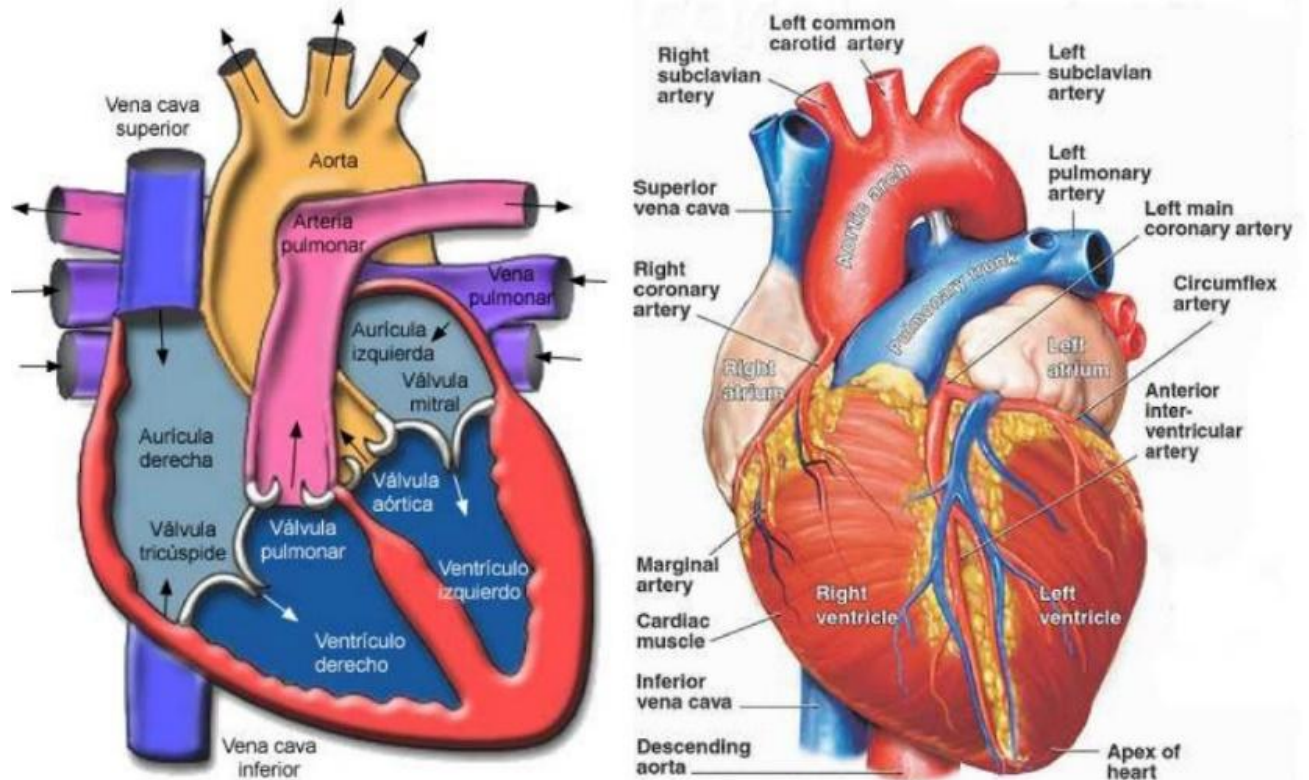
- ✚ La cubierta externa es el **pericardio fibroso**, que protege al corazón y lo ancla a sus estructuras circundantes, como el diafragma y el esternón.
- ✚ La cubierta interna es el **pericardio seroso**, que a su vez consta de dos partes
 - a. **Serosa** parietal, es la cara interna que se encuentra justo debajo del pericardio fibroso.
 - b. **Serosa** visceral se une ya a las paredes del miocardio.

Entre ambas membranas se encuentra un líquido lubricante (líquido seroso), que contribuye a la función cardíaca. El líquido seroso permite que la capa parietal y visceral se deslizen suavemente entre sí, reduciendo así la fricción entre ellas, creada por el continuo movimiento de bombeo del miocardio.

Si ponemos como límite el líquido seroso, el corazón consta de tres capas de tejidos, que de fuera a dentro son:

- **epicardio** o capa externa es el pericardio seroso visceral. Se trata de un tejido conectivo cubierto de epitelio.
- **miocardio** o capa media, es la zona más gruesa e importante, está formada por fibras musculares cardíacas conectadas entre sí, siendo las responsables de la contracción del corazón.

- **endocardio** o capa interna, es la capa que recubre la pared interna del miocardio y está formada por endotelio que rodea las cámaras cardíacas. Este es el mismo tejido (*túnica interna*) que reviste los vasos sanguíneos que salen y entran del corazón.



El corazón está dividido en cuatro cavidades o cámaras cardíacas y exteriormente se distinguen surcos, que son:

- Surco transverso o coronario: rodea el corazón, separa aurículas de ventrículos.
- Surco longitudinal, con dos partes:
 - Interventricular anterior: límite entre los ventrículos, cara anterior.
 - Interventricular posterior: límite entre los ventrículos, cara posterior.

Las cámaras superiores o aurículas se encargan de recibir la sangre que entra por las venas y las inferiores o ventrículos impulsan la sangre que sale por las arterias. Aurículas y ventrículos de ambos lados están separados entre sí por un tabique o septum, de modo que las cámaras derecha e izquierda nunca se comunican en un adulto (aunque sí en los embriones). Aunque se trata de un solo órgano, el corazón funciona como una bomba doble; el lado derecho trabaja como la bomba del circuito pulmonar y el izquierdo del circuito sistémico.

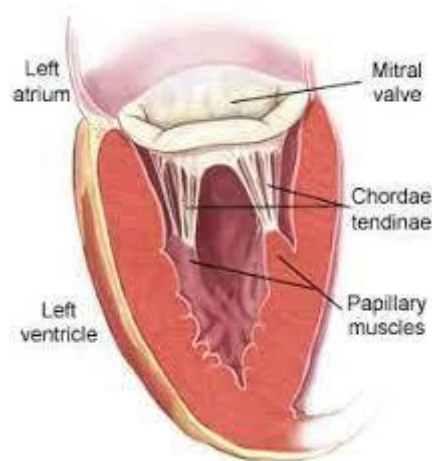
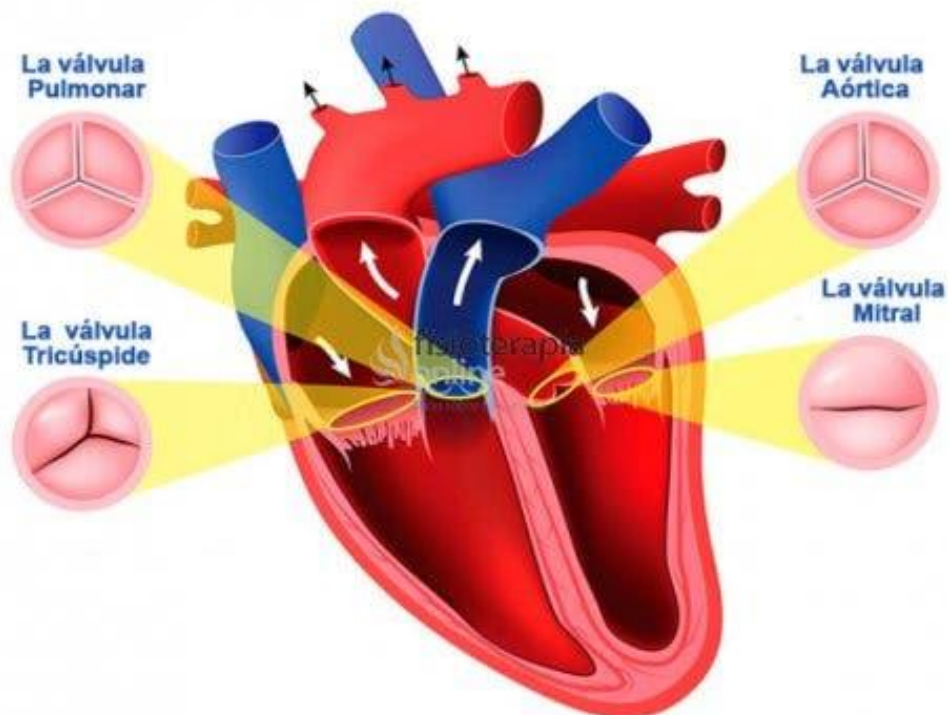
6. Circuitos del sistema cardiovascular

A NIVEL DE AURÍCULAS: la **aurícula derecha** recoge la sangre venosa de todo el cuerpo transportada por las **venas cavas** (inferior y superior), y se comunica con el **ventrículo derecho** a través de la **válvula tricúspide**. La **aurícula izquierda** recoge la

sangre procedente de los pulmones, por las **venas pulmonares**, y se comunica con el ventrículo izquierdo por la **válvula mitral o bicúspide**.

A NIVEL DE VENTRÍCULOS: del **ventrículo derecho** sale el **tronco pulmonar** que se divide en las **arterias pulmonares**, que se encargan de llevar sangre carente de oxígeno a los pulmones, y presenta una **válvula semilunar pulmonar** que evita el retroceso de la sangre hacia el ventrículo.

Del **ventrículo izquierdo** sale la **arteria aorta**, a través de la cual se distribuye sangre a los distintos órganos del cuerpo y está provista también de una **válvula semilunar aórtica** para evitar el reflujo de sangre hacia el ventrículo.



Por tanto, las dos partes del corazón trabajan en dos circuitos diferentes:

- **Circulación menor o pulmonar:** lleva sangre a los pulmones.
- **Circulación mayor o sistémica:** la sangre recorre el resto del cuerpo, pero evidentemente no toda pasa por todos los órganos pues se va ramificando:
 - La que pasa por el riñón filtra los desechos
 - La que pasa por el intestino recoge los nutrientes absorbidos por el intestino delgado.
 - La que pasa por glándulas endocrinas recoge sus hormonas.

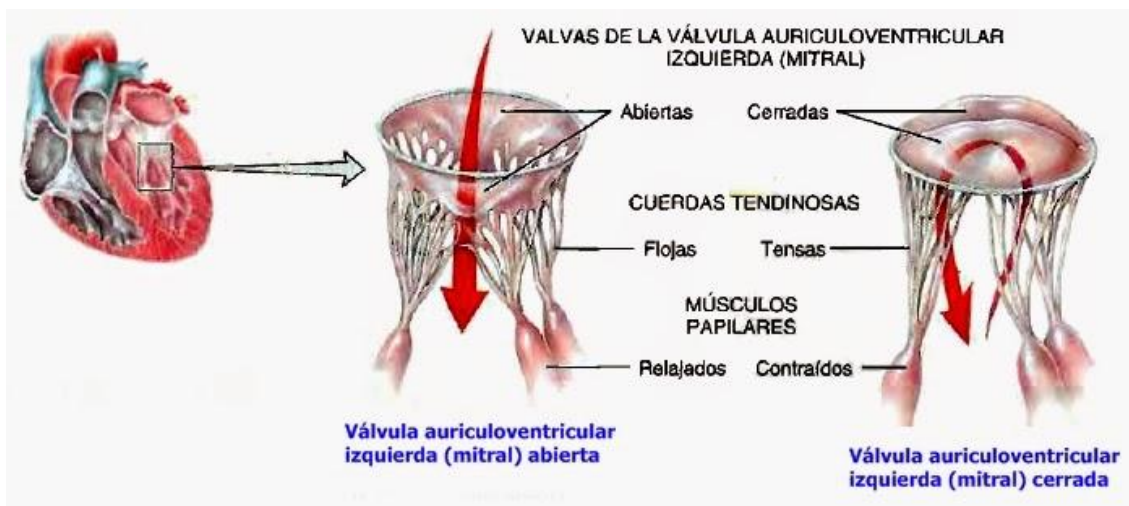
El grosor de las cavidades cardíacas depende de la capa muscular que tengan y esta depende de la necesidad de propulsión de la sangre. Por ello las aurículas son más delgadas que los ventrículos y el ventrículo derecho tiene las paredes más delgadas que el izquierdo.

7. Las válvulas cardíacas

Antes hemos visto que entre las aurículas y los ventrículos y entre los ventrículos y las arterias existen válvulas que impiden el retroceso de la sangre. Así la sangre fluye en una sola dirección a través de las cámaras cardiacas; desde las aurículas a través de los ventrículos y de los ventrículos hacia las grandes arterias que salen del corazón.

- ✚ Válvula auriculoventricular derecha: tricúspide posee tres membranas.
- ✚ Válvula auriculoventricular izquierda: bicúspide o mitral con dos finas membranas.
- ✚ Válvula semilunar o sigmoidea pulmonar.
- ✚ Válvula semilunar o sigmoidea aórtica.

Las válvulas auriculoventriculares (o AV) están ubicadas entre las cámaras auricular y ventricular de cada lado. Evitan el reflujo hacia las aurículas cuando los ventrículos se contraen. Funcionan gracias a unas diminutas cuerdas blancas, las cuerdas tendinosas, que anclan las membranas a las paredes de los ventrículos mediante los músculos papilares. Cuando se contraen los ventrículos, se cierran las válvulas. En este momento, las cuerdas se tensan y sujetan las membranas en una posición de cierre.



El segundo conjunto de válvulas, las semilunares (o SL) protegen las bases de las dos grandes arterias que salen de las cámaras ventriculares y se llaman por tanto válvulas pulmonares y aorticas semilunares. Cada una posee tres valvas que se ajustan firmemente entre sí cuando se cierran. Cuando los ventrículos se contraen y fuerzan que la sangre salga del corazón, las valvas se abren y se aplastan contra las paredes de las arterias. A continuación, cuando se relajan los ventrículos, la sangre empieza a fluir hacia atrás en dirección al corazón, y las valvas se llenan de sangre, de modo que se cierran. Esto evita que la sangre arterial vuelva a entrar en el corazón.

8. Ciclo cardíaco

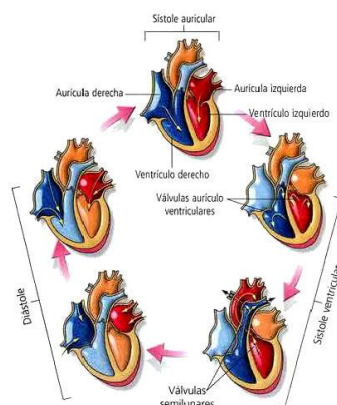
La secuencia de acontecimientos que suceden en el corazón, para que se produzca un latido cardíaco, constituye el ciclo cardíaco. Son dos bombas conectadas en serie, que funcionan a la par, la parte derecha impulsa la sangre hacia los pulmones, mientras la izquierda impulsa la sangre hacia el resto del organismo. Durante el ciclo cardíaco tiene lugar la contracción completa del miocardio. El ciclo cardíaco mueve de 4 a 6 litros de sangre por minuto en reposo, pero puede llegar a 20 - 30 l/min.

El funcionamiento del corazón consiste en movimientos coordinados, de contracción o sístole y de la relajación o diástole, de las aurículas y los ventrículos, donde las válvulas permiten el paso de la sangre de las aurículas a los ventrículos y evitan su retroceso.

SÍSTOLE AURICULAR: las aurículas se contraen a la vez, se abren las válvulas mitral y tricúspide, y la sangre es impulsada hacia los ventrículos, que se encuentran en diástole. Válvulas semilunares cerradas.

SÍSTOLE VENTRICULAR: se produce la contracción de los ventrículos, se abren las válvulas semilunares y la sangre sale impulsada por las arterias pulmonares y aorta, hasta que los ventrículos se vacían. Las válvulas mitral y tricúspide permanecen cerradas, impidiendo el retroceso de la sangre a las aurículas. Durante la sístole ventricular, las aurículas están relajadas y sus cámaras vuelven a llenarse de sangre.

DIÁSTOLE GENERAL: las aurículas y ventrículos se relajan, las aurículas continúan llenándose de sangre. Las válvulas semilunares de las arterias permanecen cerradas impidiendo que la sangre retorne de las arterias al corazón, las válvulas auricular ventriculares momentáneamente abiertas, luego se cierran, de modo que se van llenando las aurículas.



Si se utiliza un estetoscopio pueden oírse dos sonidos distintos durante cada ciclo cardíaco. Estos ruidos cardíacos se describen a menudo con dos sílabas, “lubb” y “dupp,” y la secuencia es lub-dup, pausa, lub-dup, pausa, y así sucesivamente. El primer ruido cardíaco (lubb) se debe al cierre de las válvulas AV. El segundo ruido cardíaco (dupp) se produce cuando se cierran las válvulas semilunares al final de la sístole. El sonido lub cardíaco es más largo y alto que el segundo, que tiende a ser breve y bajo.

El funcionamiento del sistema circulatorio se puede medir por el **gasto cardíaco**, que es el volumen de sangre que sale del corazón por minuto. El retorno venoso mide el volumen de sangre que regresa por las venas hacia el corazón en un minuto.

El gasto cardíaco es, en promedio, de 5 litros por minuto (varón joven y sano):

$$G = VS \times FC$$

(VS: volumen sistólico de eyección; FC: frecuencia cardíaca).

$$G = 70 \text{ ml/latido} \times 75 \text{ latidos/min} = 5250 \text{ ml/min} \approx 5 \text{ L/min. (en condiciones normales).}$$

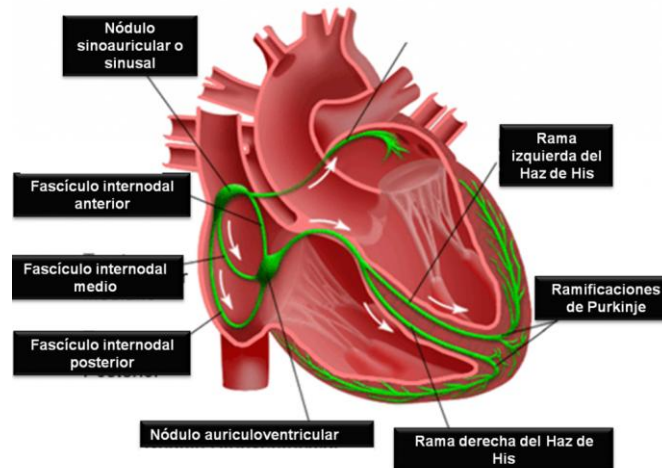
En las mujeres es un 10 a un 20% menor de este valor.

9. Control y regulación del ritmo cardíaco

El corazón se contrae y relaja rítmicamente entre unas 60 a 100 veces por minuto en reposo, y más de 150 en esfuerzos.

El **sistema nodal** es el sistema de regulación intrínseco formado por células especiales del miocardio, que combinan características del tejido muscular y nervioso, estando especializadas en la conducción de impulso nervioso. De esta forma el corazón es autónomo, se contrae espontánea e independientemente, incluso si se cortan todas las conexiones nerviosas. El sistema nodal actúa en sentido unidireccional, provocando primero la contracción de las aurículas, seguida de los ventrículos. Asimismo, marca un ritmo de contracción de aproximadamente 75 latidos por minuto, de modo que el órgano late como una unidad coordinada.

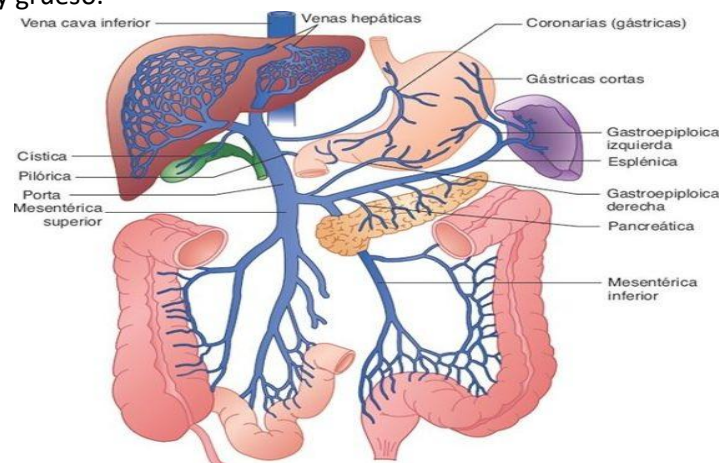
Los impulsos se inician en el seno-auricular o nódulo sinusal, que se halla en la pared de la aurícula derecha. Este nódulo se excita espontáneamente e impone el ritmo de la frecuencia cardíaca actuando como un marcapasos y se extiende a través de las células musculares de la aurícula; así, ambas aurículas se contraen casi simultáneamente. De aquí se propaga hasta otro centro localizado entre las paredes de la aurícula y el ventrículo, el nodo (o nódulo) auriculoventricular, sigue por el fascículo de Hiss a lo largo del tabique interventricular, y se ramifica por la base de los dos ventrículos a través de las fibras de Purkinje. Así se contraen casi simultáneamente los ventrículos. Dado que las fibras del nódulo auriculo-ventricular conducen el estímulo con relativa lentitud, los ventrículos no se contraen hasta haberse completado el latido auricular, es decir, hay un retraso para permitir que pase la sangre a los ventrículos.



10. El sistema porta hepático

En un sistema porta encontramos la secuencia: vena-vénulas-capilares-vénulas-vena. El mayor sistema porta del cuerpo es el hepático. La sangre llega hasta el hígado por dos caminos y se mezcla:

- La **arteria hepática** que provee sangre oxigenada pero pobre en nutrientes (1/4)
- La **vena porta hepática** que transporta sangre desoxigenada pero rica en nutrientes que llegan desde el tracto gastrointestinal. Esta vena resulta de la unión de la **vena mesentérica superior** y **esplénica**, que drenan del estómago, páncreas, intestino delgado y grueso.

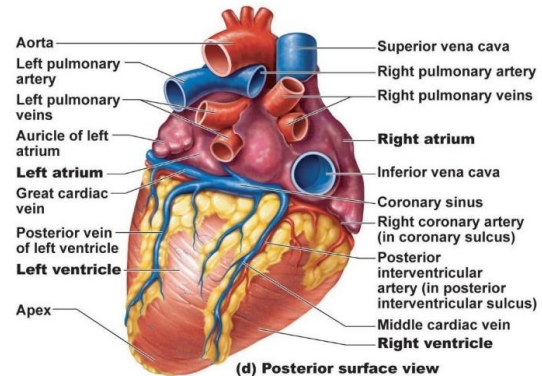
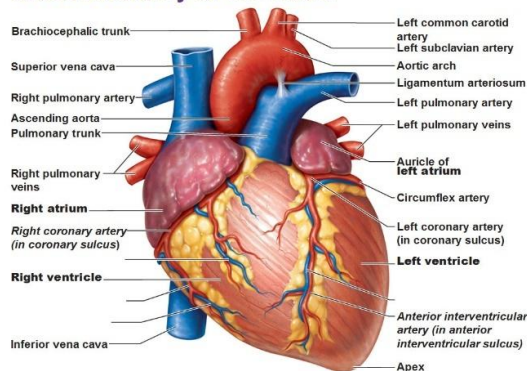


Este es un sistema porta porque esta vena porta hepática se capilariza de nuevo en el hígado, y sale del hígado como vena hepática, yendo a desembocar en la vena cava inferior. La ventaja del sistema porta es que los nutrientes obtenidos en la digestión van directamente al hígado donde se almacenan o se modifican si es necesario. También hay sistemas porta en la hipófisis y en el riñón.

11. Un circuito vascular propio: las coronarias

Aunque las cámaras cardiacas están bañadas de sangre casi continuamente, esta sangre no nutre el miocardio. El suministro sanguíneo que oxigena y nutre el corazón llega a través de dos arterias propias: las coronarias, derecha e izquierda. Estas arterias nacen en la base de la aorta ascendente y rodean al corazón por el surco coronario (ranura auriculoventricular). Así la sangre más oxigenada nutre al propio corazón, para que cumpla adecuadamente con su compleja función. Las arterias coronarias y sus ramas principales se comprimen cuando se contraen los ventrículos y se llenan cuando se relaja el corazón. El miocardio se vacía mediante varias venas cardiacas, que desembocan en un vaso ancho situado en la parte posterior del corazón, denominado seno coronario que vierte a la aurícula derecha.

Gross Anatomy of the Heart Anterior view

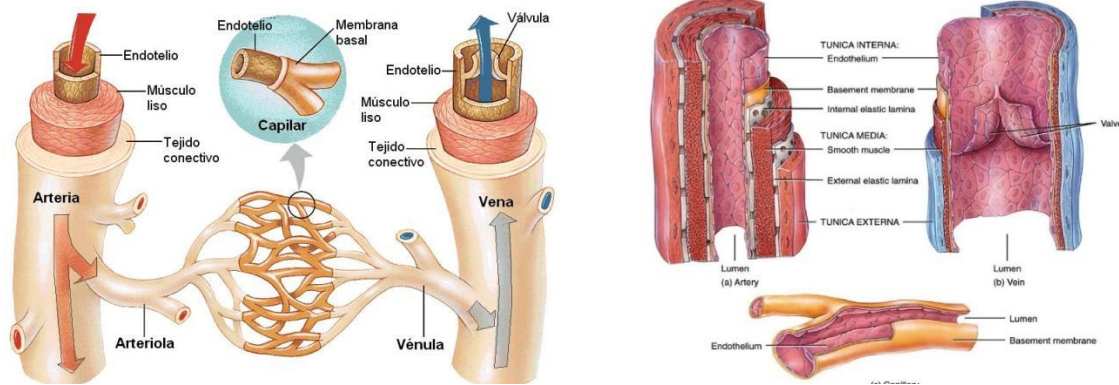


12. Los vasos sanguíneos

Existen tres tipos principales de vasos sanguíneos, las arterias, venas y capilares, son las vías o conductos que forman el sistema vascular por el que circulan los líquidos de transporte. En el cuerpo humano hay unos 80.000 km de vasos sanguíneos.

La pared de arterias y venas está formada por tres capas de tejido, que de fuera adentro son:

- Conectivo fibroso en la **túnica externa o adventicia**, con colágeno y una lámina de fibras elásticas. Su función básica es el soporte y la protección de los vasos.
- Conectivo elástico con muchas fibras y musculo liso en la **túnica media**. Es muy importante la **musculatura** que regula el flujo que va a llegar a los capilares. Esta capa de musculo liso, controlado por el sistema nervioso simpático, cambia el diámetro de los vasos. Si los vasos se contraen o dilatan, la presión sanguínea aumenta o disminuye respectivamente.
- Endotelio en la **túnica interna o íntima** que rodea la luz (el interior) de los vasos, es una fina capa de células epiteliales planas que descansa en una membrana basal. Las células ajustan perfectamente entre sí y forman una superficie totalmente lisa que reduce la fricción a medida que la sangre fluye por el vaso.



13. Las arterias

Son vasos de salida, caracterizados por tener una túnica media muy gruesa, de modo que son vasos a la vez resistentes y elásticos para soportar la alta presión de la sangre expulsada del corazón. Gracias a su musculatura se pueden contraer, regulando el flujo de sangre a los órganos. Cuando irrigan un órgano se ramifican en arteriolas y finalmente en capilares.

Las arterias se suelen clasificar en 3 tipos, en función de su tamaño: grandes o elásticas, medianas o musculares y pequeñas o arteriolas.

1. Las *grandes arterias* conducen la sangre desde el corazón hasta arterias de tamaño medio, son capaces de recibir sangre bajo presión y propulsarla hacia adelante, en ellas domina la elasticidad y funcionan como un reservorio de presión. Suelen ser internas para disminuir el riesgo de rupturas.
2. Las *arterias medianas* son arterias distribuidoras porque dirigen el flujo sanguíneo, tienen paredes relativamente anchas, con más tejido muscular y menos fibras elásticas en la túnica media. En ellas domina la contractilidad pues cambian el diámetro para ajustarse al flujo sanguíneo.
3. *Arterias pequeñas y arteriolas*, son responsables de la mayor parte de la resistencia vascular, regulan el flujo sanguíneo que llega a los lechos capilares mediante la actividad de las fibras de músculo liso.

13.1. Principales arterias del cuerpo

La aorta es la principal arteria que parte del corazón. Sale del ventrículo izquierdo y da un giro por detrás de éste, formando el cayado aórtico, y se continua en la aorta descendente. Otras arterias importantes son:

- **Arterias coronarias:** Parten de la aorta ascendente. Irrigan el corazón
- **Arterias carótidas:** Parten del cayado de la aorta hacia la cabeza.
- **Arterias subclavias:** Parten del cayado de la aorta hacia las extremidades superiores.
- **Arteria hepática:** Irriga el hígado
- **Arteria mesentérica:** sale de la aorta, riega el intestino
- **Arterias renales:** Desde de la aorta descienden a los riñones
- **Arterias ilíacas:** Se divide la aorta hacia extremidades inferiores.
- **Arteria pulmonar:** Parte del ventrículo derecho, como un tronco pulmonar y se ramifica rápidamente hacia los pulmones

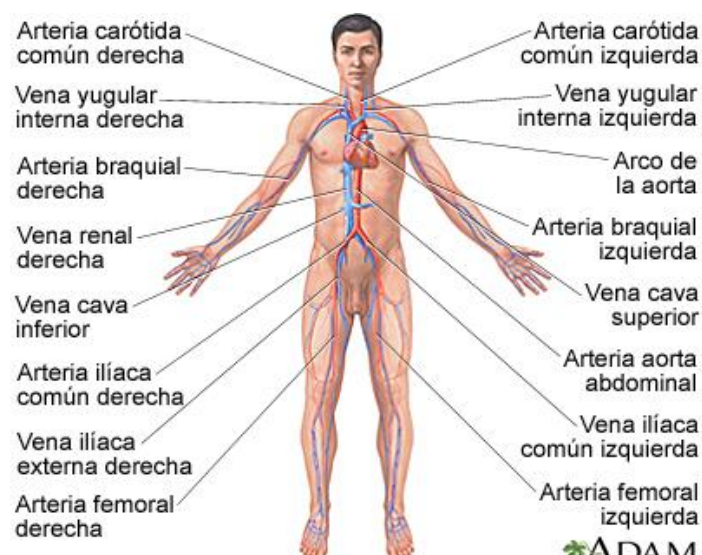
14. Las venas

Son los vasos por los que la sangre retorna al corazón, suelen ser más superficiales que las arterias. También presenta tres capas de tejidos, con la capa muscular media más estrecha. Las venas tienen una luz normalmente mayor que las arterias, y las paredes son más delgadas y elásticas, más fácilmente dilatables, con lo que se minimiza la resistencia al flujo de vuelta de la sangre. Hay dos hechos que contribuyen a mejorar la circulación venosa:

1. Las venas presentan válvulas, cuya forma se llama de nido de golondrina, para evitar el retroceso de la sangre debido a la gravedad, sobre todo las situadas en la parte inferior del cuerpo.
2. La actividad de los músculos esqueléticos mejora el retorno venoso. A medida que los músculos que rodean a las venas se contraen y se relajan, la sangre es presionada por las venas hacia el corazón.
3. Finalmente, cuando inspiramos, la caída de presión que se produce en el tórax hace que las venas grandes que se encuentran cerca del corazón se expandan y se llenen. Así, la “bomba respiratoria” también ayuda a devolver la sangre al corazón

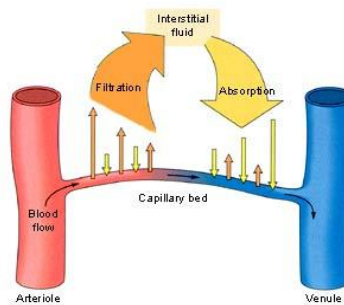
14.1. Principales venas del cuerpo

- **Cava superior:** Recoge la sangre de la parte superior del cuerpo.
- **Cava inferior:** Recoge la sangre de la parte inferior del cuerpo.
- **Vena hepática:** Forma parte del sistema porta hepático, es la vena de salida que conduce a la cava inferior
- **Venas renales:** Recogen la sangre de los riñones, conectan con la cava inferior.
- **Venas ilíacas:** Recogen la sangre de las extremidades inferiores. Confluyen en la cava inferior.
- **Venas yugulares:** Son cuatro venas que recogen la sangre de la cabeza y desembocan en las **venas braquiocefálicas** que confluyen en la cava superior
- **Venas subclavias:** Recogen la sangre de los brazos. También conectan con las braquiocefálicas.
- **Venas pulmonares:** Cuatro venas que desembocan en la aurícula izquierda, recogen la sangre oxigenada del pulmón.
-



15. Capilares sanguíneos

Los capilares forman una red de vasos muy finos, con una sola capa de células, el endotelio situado sobre una lámina basal, a través de los cuales se produce el intercambio de sustancias entre la sangre y los tejidos. No se encuentran ni en el epitelio, ni en la córnea y lentes del ojo, ni en el cartílago. Como son tan finos sufren frecuentes roturas, pero se cierran gracias a la actuación de los factores de coagulación y de las plaquetas, reponiéndose rápidamente. Los diminutos capilares tienden a formar redes entretejidas denominadas lechos capilares. El flujo de sangre que va desde una arteriola a una vénula, es decir, a través de un lecho capilar, se denomina microcirculación.



A medida que la sangre se mueve a través del lecho capilar, se produce el intercambio de sustancias entre el plasma sanguíneo y el líquido intersticial: los gases (como el oxígeno y el dióxido de carbono), los iones, las hormonas y las sustancias de bajo peso molecular en general, se intercambian libremente por difusión entre el plasma y los tejidos circundantes. Además, la elevada presión sanguínea facilita la salida de líquido por filtración de la sangre a través de las células del endotelio. Todas las sustancias del plasma pueden salir excepto las proteínas de alto peso molecular, debido a su tamaño; también pueden atravesarlos los leucocitos que se deforman, pero no los eritrocitos ni las plaquetas. Las proteínas que han quedado retenidas en el interior de los vasos ejercen un efecto osmótico que genera un movimiento de líquido en sentido opuesto al generado por la presión sanguínea, de modo que tiende a retornar el líquido desde los tejidos hacia los capilares.

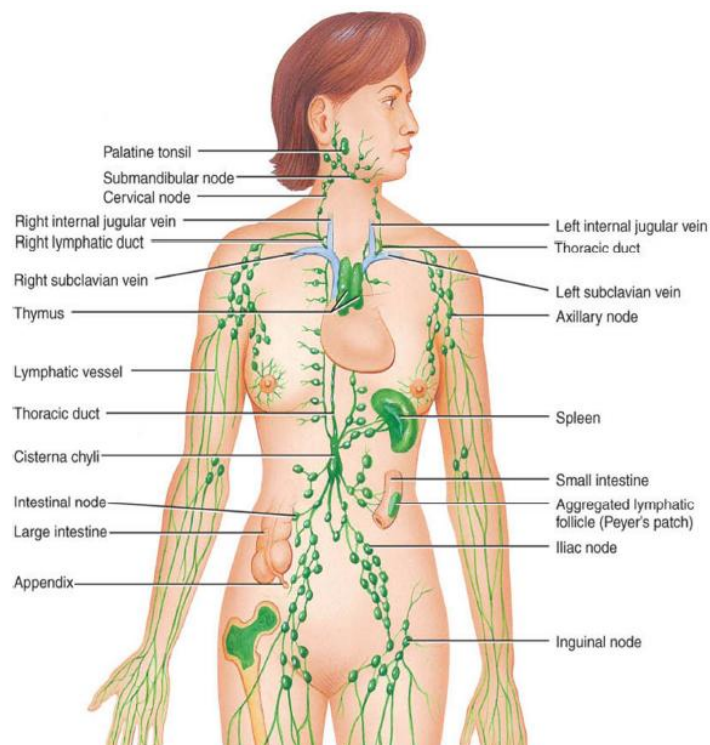
El que el fluido salga de un capilar o entre en él, depende de la diferencia de concentraciones o presiones. Como regla general, la tensión arterial es mayor que la presión osmótica en el extremo arterial del lecho capilar e inferior que la presión osmótica en el extremo venoso. En consecuencia, el líquido sale de los capilares al principio del lecho y se recoge en el extremo contrario (vena). Sin embargo, no todo el líquido que se fuerza a salir de la sangre se recoge en el lado de la vénula y el líquido perdido va a pasar al sistema linfático.

Las sustancias que se intercambian en primer lugar difunden a través de un espacio intermedio lleno de líquido intersticial (líquido tisular). Las sustancias tienden a moverse hacia y desde las células del organismo según sus gradientes de concentración. Así, el oxígeno y los nutrientes salen de la sangre y entran en las células del tejido, y el dióxido de carbono y otros desechos salen de las células tisulares y entran en la sangre.

16. Un circuito anexo: la circulación linfática

El sistema linfático está formado por una red de vasos y nódulos linfáticos y recorrido por un líquido llamado linfa. Este sistema es necesario pues la presión sanguínea hace que salga más líquido de los capilares que el que regresa a ellos. El líquido intersticial excedente pasa al sistema linfático, que lo recolecta y lo vuelca más tarde en las venas. La linfa tiene una composición semejante al líquido intersticial, tiene más agua y lípidos que la sangre y menos proteínas y sales. Como no hay plaquetas, la linfa no coagula. En la linfa se transportan al torrente sanguíneo las grasas absorbidas del tubo digestivo.

El sistema linfático tiene algunas similitudes con el sistema venoso, pues consiste en una red interconectada de vasos que son progresivamente más grandes. Los vasos linfáticos son muy permeables, por lo que dejan pasar el fluido extracelular. Se forman como capilares con un extremo cerrado que se encuentran en casi todos los espacios tisulares y se unen para formar vasos linfáticos mayores que presentan una capa de músculo liso que les permite contraerse y además contienen en su interior válvulas que impiden el retroceso de la linfa, que también se mueve por la acción de los músculos del cuerpo. Los capilares linfáticos son conductos ciegos que se abren en el espacio intercelular y no forman parte de un circuito continuo.



Los vasos linfáticos recorren el organismo drenando el exceso de líquido. Confluyen unos con otros en ganglios linfáticos y terminan desembocando en dos lugares: en el conducto torácico, que se vacía en la vena subclavia izquierda, y a través del conducto linfático derecho, que se vacía en la vena subclavia derecha. Estas dos venas desembocan en la vena cava superior.

En las confluencias de los vasos se forman los ganglios o nódulos linfáticos, que son masas de tejido esponjoso distribuidos por todo el sistema linfático. Son las zonas de proliferación de los linfocitos especializados en la respuesta inmune específica. Los ganglios linfáticos, además actúan como filtros, ya que retienen los cuerpos extraños que circulan por la linfa.

La cantidad diaria de linfa volcada en el sistema venoso es de 2 a 4 litros, mucho menor que los 7.000 litros diarios que pasan por la circulación sistémica. Sin embargo, esta circulación permite la recuperación de sustancias que, de otra manera, hubieran quedado retenidas en el líquido intersticial.

Las principales funciones del sistema linfático son:

- Retorno del líquido intersticial a la sangre
- Presentación de antígenos en el sistema inmunitario: los ganglios linfáticos actúan como filtros que identifican, retienen y destruyen microbios.
- Transporte de lípidos del intestino al hígado: se aprovecha el sistema para transporte de lípidos pues una obstrucción de un vaso linfático es menos peligrosa que la de un vaso sanguíneo.