

# Fisiología adaptativa del sistema circulatorio

**Autor:** Iturrioz Arribas, María (Licenciada en Biología, Profesora de Biología y Geología en Educación Secundaria).

**Público:** Profesores de Ciencias Naturales. **Materia:** Biología y Geología. **Idioma:** Español.

**Título:** Fisiología adaptativa del sistema circulatorio.

## Resumen

El presente artículo desarrolla la Fisiología Adaptativa del Sistema Circulatorio en animales, es decir, analiza el funcionamiento de los diversos órganos, tejidos y células que lo conforman. Realiza un recorrido a lo largo de los diversos grupos taxonómicos de animales, en orden creciente de complejidad y muestra la adaptación que todos ellos realizan para sobrevivir en el medio en el que habitan. Es un artículo de utilidad para docentes que imparten Biología en Bachillerato o para estudiantes de Fisiología Adaptativa.

**Palabras clave:** Fisiología, Sistema Circulatorio, Fluido circulatorio, Vasos sanguíneos, Corazón.

**Title:** Adaptive physiology of the circulatory system.

## Abstract

This article develops the Adaptive Physiology of the Circulatory System in animals, in other words, it analyzes the functioning of the different organs, tissues and cells that conform it. It makes a tour along the various taxonomic groups of animals, showing the increasing of complexity and the adaptation that all of them develop to survive in the environment in which they inhabit. It is an useful article for teachers in High School or for students of Adaptive Physiology

**Keywords:** Physiology, Circulatory System, Circulatory Fluid, Blood vessels, Heart.

Recibido 2018-07-24; Aceptado 2018-07-27; Publicado 2018-08-25; Código PD: 098111

## INTRODUCCIÓN

Los animales pueden considerarse como un sistema abierto, puesto que intercambian materia y energía con el medio externo. Pero además, son un sistema muy complejo y dinámico, formado por aparatos interrelacionados entre sí a través de unos lazos tan estrechos y diversificados que la sola alteración de uno de ellos, por pequeña que sea, puede romper el perfecto equilibrio que lo mantiene.

El presente artículo desarrolla la Fisiología Adaptativa, considerando la adaptación ambiental como un proceso muy lento desarrollado por las especies, de modo que éstas deben obtener genotipos y fenotipos diversos en base al medio ambiente en el que viven. El funcionamiento de los sistemas, de los aparatos y, por tanto, de las relaciones entre ellos, se ajusta a ese medio que les rodea.

Nos centraremos, en realidad, en los sistemas circulatorios en los animales, elemento de indiscutible relevancia para la vida. Se analizarán los diversos grupos taxonómicos, hablado de ellos en orden creciente en cuanto a su grado de evolución, para ejemplificar cómo los sistemas circulatorios se hacen cada vez más complejos, adquiriendo tejidos y funciones variadas y nuevas en cada escalón que se asciende en dicha evolución.

## LOS FLUIDOS CIRCULATORIOS

Los sistemas circulatorios en metazoos tienen como finalidad la distribución de nutrientes y sustancias de desecho en el organismo. Para ello, es indiscutible la importancia de los fluidos como medio de transporte.

Dichos fluidos cuentan con una misión esencial en los metazoos, que es la de reducir las distancias de difusión que deben cubrir los gases, nutrientes y desechos. Además, tienen otras funciones no menos importantes para la vida de los animales, como son:

- Comunicación y señalización, mediante las hormonas
- Hidráulica, constituyendo, en el caso de invertebrados, un esqueleto hidrostático para la locomoción
- Termorregulación o regulación de la temperatura corporal
- Regulación del equilibrio hídrico del organismo

Hablamos de la hidrolinfa en equinodermos; la hemolinfa en moluscos, artrópodos y crustáceos, con hemocianina como molécula transportadora de oxígeno y la sangre en anélidos y vertebrados, con hemoglobina.

## SISTEMAS CIRCULATORIOS EN LOS DIVERSOS METAZOOS

Como ya se ha mencionado anteriormente y como resulta lógico, la complejidad de los sistemas circulatorios en animales aumenta progresivamente a medida que éstos avanzan en la evolución. Existe una amplia variedad de mecanismos para realizar el transporte de nutrientes y desechos, todos ellos adaptados al medio en el que viven los metazoos.

Seguiremos un orden creciente en complejidad para su análisis.

### 1.- UTILIZACIÓN DEL MEDIO EXTERNO, EN METAZOOS QUE CARECEN DE SISTEMA CIRCULATORIO.

Se trata de animales de pequeño tamaño, metabolismo lento y movimiento corporal escaso. Su hábitat es el mar y, en muchas ocasiones, son sésiles. Es el caso de los **Poríferos** y los **Cnidarios**, que utilizan mecanismos de difusión, principalmente, para el transporte de sustancias: paso de moléculas a través de las membranas celulares, a favor de gradiente electroquímico o bien mediante el uso de proteínas transportadoras.

**1.1.- Los Poríferos** son animales que carecen de tejidos ni órganos diferenciados. Su cuerpo está constituido por dos capas de células separadas entre sí por un espacio o *mesohilo*. La capa más externa recibe el nombre de *pinacodermo*, cuyas células o *pinacocitos*, son semejantes a nuestras células epiteliales. Dicha capa externa contiene numerosos poros, por los que el Porífero capta el agua del medio externo.

La capa interna o *coanodermo*, está recubierta en su cara interna por unas células flageladas llamadas *coanocitos*. Es el movimiento de estos flagelos el causante de las corrientes del agua que entra desde el exterior por los poros.

Tras realizarse el intercambio de sustancias y, de este modo, la alimentación, el agua sobrante sale del animal a través del ósculo u orificio principal del animal que comunica con el exterior.

**1.2.- Los Cnidarios**, también animales marinos, presentan un único orificio que hace las veces de boca y ano y por el que el líquido circulante externo penetra en el organismo. Son las células que tapizan la cavidad gastrovascular las encargadas de captar los nutrientes y transportarlos a células vecinas mediante un proceso de difusión.

**1.3.- Los gusanos Platelminfos y Nematodos**, si seguimos avanzando en la evolución. Los **Platelminfos** o gusanos planos, son animales acelomados y triblásticos; los **Nematodos** o gusanos redondos son pseudocelomados. Ambos carecen de sistema circulatorio, por lo que utilizan la respiración cutánea para el intercambio gaseoso gracias a la difusión y el aparato digestivo para la captación de alimentos (son carnívoros) a través de la boca y eliminación de desechos a través del ano.

### 2.- MOVIMIENTO DEL MEDIO INTERNO, EN ANIMALES CON SISTEMA CIRCULATORIO.

Podemos diferenciar dos grandes grupos, en función de que el sistema circulatorio sea abierto o cerrado.

**2.1.- El SISTEMA CIRCULATORIO ABIERTO**, también llamado **LAGUNAR**, se caracteriza porque la sangre no siempre viaja por vasos sanguíneos, sino que hay momentos en los que abandona el corazón e irriga directamente los tejidos. Este mecanismo es propio de invertebrados de pequeño tamaño y complejidad, donde no es necesario que la sangre alcance una gran presión ni velocidad, puesto que su circulación es ayudada, en parte, por los movimientos del cuerpo.

**2.1.1.-** Es el caso de los **artrópodos**, seres vivos celomados, en los que existe un tubo dorsal que recorre toda la longitud del cuerpo del animal y está abierto por la parte delantera, la más cercana a la cabeza, de modo que es ahí donde el líquido circulante o *hemolinfa* abandona el sistema circulatorio.

Aparecen unas dilataciones en la parte abdominal del insecto que hacen las veces de corazón o bomba propulsora. Este corazón tubular está constituido por cámaras que se contraen y dilatan rítmicamente, provocando el bombeo de la hemolinfa. Además, posee unos orificios u *ostiolos*, a través de los cuales entra la hemolinfa desde el *hemocele*, que no es sino la cavidad general del cuerpo. La suma de la contracción y dilatación de la bomba y la presión ejercida por la hemolinfa al entrar es la causante del bombeo del líquido circulante hacia delante.

Se trata de un sistema circulatorio muy poco eficiente, donde la diferencia de presión es escasa. Los insectos consiguen solventar este problema gracias a las *tráqueas*, sistema respiratorio exclusivo de ellos.

2.1.2.- También encuadramos en los sistemas circulatorios abiertos a los **Moluscos** (salvo a los **Cefalópodos**, cuyo sistema es cerrado). El corazón típico de estos animales es más complejo que el anteriormente mencionado de los artrópodos: posee dos aurículas y un ventrículo (en *monoplacóforos* y *nautilus*, existen dos ventrículos independientes). El ventrículo bombea la sangre a los vasos sanguíneos que la vierten al hemocele, donde será recogida por otros vasos que la llevarán a las branquias o *ctenidios*, para oxigenarse. Volverá, de ahí, al corazón, al cual entrará a través de las branquias.

2.2.- El **SISTEMA CIRCULATORIO CERRADO** es el más complejo, puesto que la sangre se ve obligada a viajar siempre dentro de vasos sanguíneos para alcanzar más presión y asegurar su llegada todas las células del organismo.

2.2.1.- Los **Anélidos** o gusanos segmentados son incluidos aquí, aunque resulte curioso. Poseen dos grandes vasos que recorren el cuerpo de forma longitudinal: un vaso dorsal y otro ventral. Estos vasos se comunican a través de vasos laterales, uno en cada segmento del gusano y que se ensanchan a modo de bombas propulsoras de la sangre.

2.2.2.- Los ya mencionados **Moluscos Cefalópodos** poseen un corazón tabicado con dos cámaras: aurícula y ventrículo. La aurícula recibe la sangre oxigenada de las branquias que, a su vez, poseen dos corazones branquiales accesorios, que consiguen aumentar la presión y bombear con más eficacia, aumentando el ritmo cardiaco. Sin esta peculiar característica, los Cefalópodos no podrían mantener su elevado metabolismo.

El ventrículo bombea la sangre hasta los tejidos a través de la arteria aorta. Son las venas las encargadas de recoger la sangre que procede del manto, de la cabeza y de las vísceras y toda ella confluye en los corazones branquiales, que la bombean a las branquias, donde se oxigena.

2.2.3.- Los **vertebrados**, son el ejemplo más significativo de circulación cerrada. No podemos pasar por alto la gran división de sistemas de circulación de la sangre: sistemas sencillos y dobles, en función del número de veces que la sangre pasa por el corazón para realizar un recorrido completo.

a) Comenzando por la **CIRCULACIÓN SENCILLA**, en este caso la sangre sólo pasa una vez por el corazón para completar un circuito completo. Es el caso de los **peces**, los cuales poseen un corazón con dos cámaras, aurícula y ventrículo. La peculiaridad en estos animales es que existe una cámara anterior a la aurícula, llamado *seno venoso*, el cual debe su nombre al hecho de ser el lugar de confluencia de todas las venas del sistema circulatorio, cargada de dióxido de carbono. Será el ventrículo el encargado de bombear la sangre a las branquias, donde se producirá el intercambio gaseoso.

Existe un problema y es que tanto el seno venoso como la aurícula tienen muy poca capacidad contráctil, de modo que la sangre experimenta un brusco cambio de presión al ser propulsada por el ventrículo. Ciertos peces solucionan esto creando una cuarta división, elástica y de tejido muscular, posterior al ventrículo: en *teleósteos* recibe el nombre de *bulbo arterioso* y en *elasmobranquios* de *cono arterioso*.

Un caso especial es el de los *dipnoos* o *peces pulmonados*. La presencia de estos órganos obliga a la existencia de una doble circulación: pulmonar y sistémica, para separar la sangre oxigenada de la rica en dióxido de carbono, al menos parcialmente. Es un avance hacia la circulación en anfibios, lo que se logra mediante el septo intraauricular y la presencia de venas pulmonares independientes.

b) La **CIRCULACIÓN DOBLE** recibe este nombre porque la sangre debe pasar dos veces por el corazón para realizar un circuito completo, ya que existen, como hemos explicado en el párrafo anterior, dos circuitos: el pulmonar y el sistémico. A medida que avanza la evolución de los animales, la tabicación del corazón es más compleja, de modo que la mezcla de sangre arterial y venosa disminuye.

En primer lugar, debemos hablar de los **anfibios**, cuyo tipo de circulación sanguínea recibe el nombre de *incompleta*, puesto que sus ventrículos no están bien tabicados (el septo ventricular es parcial), de modo que se mezcla la sangre arterial con la venosa. Así, su corazón es tricameral: posee dos aurículas, a las cuales llegan las venas: en la aurícula derecha confluye la vena cava y en la izquierda, la vena pulmonar y un único ventrículo. La solución para evitar esta llamada circulación incompleta es un retardo entre la contracción de las dos aurículas.

Este corazón es menos musculoso que el de los peces, quizá por su menor metabolismo y movimiento y no cuenta con flujo coronario.

Continuando con los **reptiles**, en ellos el seno venoso se incorpora a la aurícula derecha y el ventrículo posee un septo más desarrollado que en el caso de los anfibios, aunque no por ello la circulación deja de ser incompleta, con mezcla de ambos tipos de sangre.

Esto es así en todos los reptiles salvo en los **cocodrilianos**, cuyo grado evolutivo es mayor, hasta el punto de poseer dos ventrículos prácticamente independientes entre sí, lo que hace que su tipo de circulación se considere completa: no se mezcla la sangre rica en oxígeno con la que está cargada en dióxido de carbono. Además, los cocodrilianos poseen válvulas que separan aurículas de ventrículos para evitar el retroceso de la sangre: *válvula tricúspide* en la parte derecha y *mitral* en la parte izquierda. Se aprecia, también, un mayor desarrollo del lado izquierdo del corazón que del derecho, como ocurre en los mamíferos.

Para analizar la circulación más compleja que existe, haré, así, referencia a los **mamíferos**.

## LA CIRCULACIÓN EN MAMÍFEROS

Los mamíferos somos el ejemplo de organismos más complejos que poseen circulación sanguínea cerrada y doble.

### 1.- EL CORAZÓN EN MAMÍFEROS Y EL CIRCUITO DE LA SANGRE

Nuestro corazón es tetracameral, con dos aurículas, a las que llegan las venas cava y pulmonar y dos ventrículos, de los que salen las arterias aorta y pulmonar. De este modo, a la aurícula derecha llega la vena cava, procedente de la circulación sistémica o mayor y cargada de dióxido de carbono. La contracción de esta aurícula hará que la sangre pase al ventrículo derecho, a través de la válvula tricúspide. Una vez allí, el ventrículo se contrae para expulsar la sangre a la arteria pulmonar, para comenzar la circulación menor. La conducirá a los pulmones, donde se cargará de oxígeno tras haber cedido el dióxido de carbono que poseía. Será recogida por las venas pulmonares, que retornan al lado izquierdo del corazón, concretamente a la aurícula izquierda. A través de la válvula mitral, pasará al ventrículo izquierdo, parte más musculosa y desarrollada de la bomba propulsora. Dará paso a la circulación mayor, general o sistémica, gracias a la arteria aorta, la cual conduce la sangre oxigenada a todos los tejidos del organismo.

Al tratarse de una circulación doble, existen dos circuitos, como en otros tantos ejemplos de animales:

- La **circulación pulmonar o menor** se caracteriza por presentar una baja presión y un volumen de sangre elevado, además de ser un circuito corto.
- La **circulación sistémica o general** consiste en un circuito largo cuyas presiones y volúmenes son variables y regulados.
- Además, existe en mamíferos un tercer tipo de **circulación** llamada **portal**: una conexión en serie de los diferentes órganos del cuerpo, de modo que cada uno recibe la sangre venosa que procede de otro. Los más importantes son el sistema portal hepático, en el cual el hígado recibe sangre del intestino; el sistema portal renal, que nutre a los riñones y el perteneciente al sistema nervioso, con el eje hipotálamo-hipófisis.

### 2.- VASOS SANGUÍNEOS EN MAMÍFEROS

También en mamíferos los vasos sanguíneos alcanzan su máxima complejidad, existiendo calibres y estructuras muy diferentes.

- Las **arterias**, vasos encargados de repartir la sangre desde el corazón, poseen tres capas diferenciadas: una *capa endotelial o íntima*; una *capa media* de fibras de músculo liso y elastina y una *capa externa o adventicia* de fibras conjuntivas.  
Son los vasos sanguíneos de mayor grosor y resistencia, al soportar presiones sanguíneas elevadas. El caso más extremo es el de la *arteria aorta*, la cual tiene que soportar el máximo de presión, al recibir sangre directamente del ventrículo izquierdo. Para ello, dispone de una gran cantidad de elastina.
- Las **venas** posibilitan un recorrido de la sangre contrario al de las arterias: la conducen desde los órganos hasta el corazón. Para ello, poseen dos capas: la *íntima o endotelial*, de la misma naturaleza ya explicada y una *capa externa*, formada por fibras de elastina, músculo liso y también fibras conjuntivas.
- En el caso de **arteriolas** y **vénulas**, de calibre menor a las anteriores, la cantidad de fibras de músculo liso aumenta y las de la elastina disminuyen, debido a que el valor de presión soportado es mejor.

- Por último, los **capilares sanguíneos**, de calibre mínimo, en los que tan sólo es necesaria la presencia de una capa, que es la *endotelial o íntima*.

Para analizarlo con mayor detalle, adjuntamos un cuadro que refleja las propiedades de los vasos sanguíneos y la distribución de la sangre en mamíferos, considerando el volumen total de ésta un 8 ó 9% del volumen corporal.

			Composición de pared (% diámetro)				% sangre total		
	Diámetro	Pared grosor	Endotelio	Músculo	Colágeno	Elastina	Sistémica	Pulmonar	
Aorta	25 mm	2 mm	5	22	33	40	-	-	
Arteria	4 mm	1 mm	10	35	25	30	12	7	
Arteriola	30 µm	20 µm	10	50	20	20			
Capilar	8 µm	<1 µm	100	0	0	0	11	1	
Vénula	20 µm	2 µm	40	10	40	10	41	14	
Vena	20 mm	1 mm	8	32	40	20			
Corazón								14	

Analizando otras características de los vasos sanguíneos, hablaremos de:

- **Superficie vascular:** los capilares sanguíneos representan la mayor superficie vascular, con una gran diferencia, llegando a alcanzar unos 4500 ó 5000 cm<sup>2</sup>. Deben soportar una baja presión y una baja resistencia al flujo sanguíneo. Les siguen las vénulas (unos 3000 cm<sup>2</sup>) y las venas (<1000 cm<sup>2</sup>), seguidas muy de cerca por arteriolas (entre 1000 y 2000 cm<sup>2</sup>) y arterias (>300 cm<sup>2</sup>).
- **Velocidad de flujo.** En esta propiedad ocurre precisamente lo contrario que con la superficie vascular, puesto que aquellos vasos que aparecen con gran densidad serán los que permitirán una velocidad de flujo menor, dado su pequeño calibre y baja capacidad de soportar presión. Son, así, los capilares, los que permiten menor velocidad (<2 cm/s); las vénulas entre 2 y 10 cm/s, las arteriolas entre 2 y 40 cm/s, las venas entre 10 y 40 cm/s y, por último, por supuesto, las arterias, entre 40 y 50 cm/s. Destaca el curioso valor de las arteriolas, con ese amplio rango de velocidad soportada. Esto se debe a que son vasos sanguíneos de gran resistencia y están diseñados para contraerse o dilatarse y controlar, así, el acceso de sangre a los diferentes órganos, en función de las necesidades de éstos.
- **Presión sanguínea.** Como es de esperar, son las arterias los vasos sanguíneos por los que la sangre circula con mayor presión: entre 12 y 13 KPa. Las arteriolas vuelven a presentarse con un rango de presiones muy amplio: desde los 12 hasta los 4 KPa, por la misma razón ya expuesta anteriormente. A continuación, capilares sanguíneos, que soportan presiones entre 2 y 4 KPa y terminando con vénulas y venas, cuyos valores de presión son semejantes y muy bajos, alrededor de 1 KPa.

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente artículo hemos querido analizar el desarrollo y aumento en la complejidad del sistema circulatorio a lo largo de los diversos grupos de animales. Hemos expuesto características anatómicas y fisiológicas partiendo de los metazoos más sencillos, aquéllos que carecen de tejidos y órganos como tal, para terminar con aquéllos más complejos. Órganos como el corazón o los vasos sanguíneos, tejidos como el muscular o epitelial, corrigen sus propias imperfecciones a medida que la evolución se sucede. Además, se adaptan al medio en el que las especies habitan, cambiando pequeños rasgos para ser más competitivos en un medio que no deja de ser hostil.

Se ha demostrado que la evolución dirige a las especies hacia funciones y estructuras cada vez más perfectas, donde las diversas unidades que conforman el todo se interrelacionan entre sí de un modo tan sutil pero a la vez tan íntimo que llegan a ser las unas indispensables para las otras.

Es el caso de la imposibilidad de estudiar los sistemas circulatorios sin hablar del intercambio gaseoso, de la captación de nutrientes o de la eliminación de desechos. Somos un sistema complejo, un sistema abierto con constantes entradas y salidas de materia y energía, intercambios con el exterior eminentemente adaptativos. Podemos reajustar nuestro medio interno constantemente para sobrevivir, para convertirnos en el más apto.

---

### **Bibliografía**

- <https://invertebrados.paradais-sphynx.com/poriferos/poriferos-caracteristicas-esponjas.htm>
- <http://cienciasdejoseleg.blogspot.com/2012/09/el-sistema-circulatorio-en-algunos.html>
- <http://circulasv.blogspot.com/2012/09/circulacion-en-seres-vivos.html>
- <https://www.animales.website/platelmintos/>
- <https://www.lifeder.com/sistema-circulatorio-abierto-cerrado/>
- [http://ocwus.us.es/produccion-vegetal/sanidad-vegetal/tema\\_3/page\\_02.htm](http://ocwus.us.es/produccion-vegetal/sanidad-vegetal/tema_3/page_02.htm)
- <https://www.asturnatura.com/moluscos/cefalopodos.html>
- <https://www.lifeder.com/circulacion-sanguinea-en-reptiles/>
- <https://es.slideshare.net/123jexus/circulacion-en-los-mamiferos>