

que hay entre los diversos órganos; pero no obstante se halla animado de un movimiento circulatorio, y el agente principal de esta circulación vaga é incompleta es un vaso dorsal situado en la línea media del cuerpo, por encima del tubo digestivo (fig. 67). Más adelante veremos la marcha que sigue la sangre en el organismo de los animales de aparato circulatorio lagunoso.

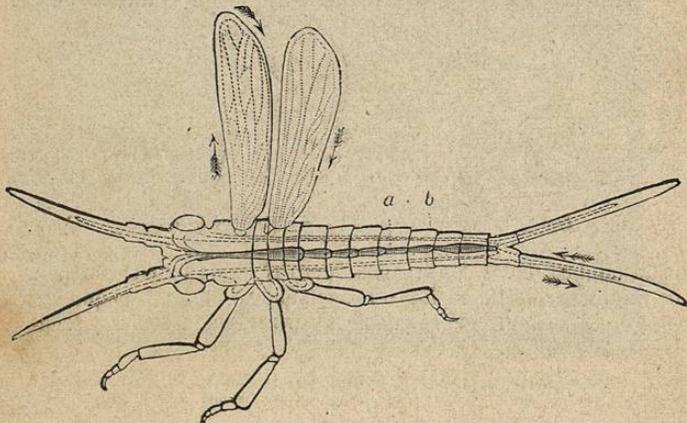


Fig. 67. — Circulación en los insectos<sup>1</sup>.

§ 113. **Gusanos.** — En los gusanos de la clase de los anélidos (como la sanguijuela y la lombriz de tierra), existe al contrario un aparato vascular completo; pero, en general, no tienen corazón propiamente dicho, y el líquido nutritivo se pone en movimiento sólo por las contracciones de los principales vasos. También la marcha de la sangre es bastante menos regular que en los diversos animales de que acabamos de hablar y á menudo no es constante la dirección de la corriente.

§ 114. **Zoófitos.** — Finalmente, existe una especie de circulación aun más imperfecta en diversos zoófitos, como en ciertos pólipos, en los cuales el líquido nutritivo, extendido en la gran cavidad que existe en el cuerpo de estos animales, se mueve con bastante velocidad, bajo la influencia de pequeños filamentos, llamados *pestañas vibrátiles*, que existen en las paredes de esta cavidad y que agitan el líquido como lo harían remos ó pa-

<sup>1</sup> Las flechas indican la dirección de las corrientes: — a, vaso dorsal en el cual se dirige la sangre de atrás hacia adelante; — b, principales corrientes laterales.

letas. Esta cavidad, que á la vez hace de estomago, es algunas veces simple; pero otras se extiende por las partes del cuerpo más distantes en forma de canales ramificados.

§ 115. Tales son las principales modificaciones que se observan en la manera como se efectúa la circulación del fluido nutritivo en los diversos animales. Estudiemos ahora los fenómenos que se verifican mientras recorre del modo expresado el sistema vascular.

#### RESPIRACIÓN.

§ 116. Hemos visto que la sangre arterial, por su acción sobre los tejidos, pierde las cualidades que la hacían propia para la conservación de la vida, y que después de ser modificada de este modo, vuelve á tomar sus propiedades primeras por el contacto del aire: este contacto es, pues, necesario para la existencia de los seres vivos. Y en efecto, si se pone un animal bajo la campana de una máquina neumática en la cual se hace el vacío, ó bien se le priva del aire por cualquier otro medio, sobreviene grandísimo desarreglo en las diversas funciones; en seguida se interrumpe la acción de todos los órganos, la vida cesa de manifestarse, y el animal cae en estado de *asfixia* ó de muerte aparente; finalmente la vida se extingue por completo.

Este fenómeno es uno de los más generales de la naturaleza orgánica: la influencia del aire es indispensable á todos los animales, como lo es á todos los vegetales; y cuando se priva de ella durante cierto tiempo á un ser animado, es segura su muerte. Casi en todo donde la vida existe, es necesario el aire.

A primera vista, podría creerse que los animales que viven siempre debajo de agua, como los peces, no necesitan de la influencia del aire y forman, por consiguiente, una excepción de la ley de que acabamos de hablar; pero no es así, pues el líquido en el cual están sumergidos absorbe y tiene en disolución cierta cantidad de aire que fácilmente pueden ellos separar, y que basta para la conservación de sus vidas; les es imposible existir en agua que no contenga aire, y se les ve asfixiarse y morir en ella como perecen los mamíferos ó las aves que sus traemos á la acción del aire atmosférico bajo su forma ordinaria.

Las relaciones del aire con los seres orgánicos forman una de las partes más notables de su historia fisiológica, y la serie de fenómenos que de ello resulta constituye el acto de la RESPIRACIÓN.

§ 117. Hemos dicho que el aire es necesario á la vida de todos

los animales; mas este fluido no es un cuerpo homogéneo; la química ha demostrado la existencia en él de principios muy diferentes, y que, por consiguiente, pueden no desempeñar el mismo papel en el fenómeno de la respiración. En efecto, además del vapor de agua de que está la atmósfera siempre más ó menos cargada, da el aire por el análisis cosa de 21 centésimas partes de *oxígeno* y 79 de *nitrógeno*, así como trazas de *gas ácido carbónico*. La primera cuestión que se presenta al espíritu, cuando se emprende el estudio de la respiración es, pues, averiguar si estos diferentes gases obran del mismo modo sobre los animales, ó bien si á uno de ellos especialmente pertenece la propiedad de conservar la vida.

Para resolverla bastan pocos experimentos. Si se pone un animal vivo en un recipiente lleno de aire y se intercepta toda comunicación de este fluido con la atmósfera, se ve que al cabo de un rato más ó menos largo, el animal se asfixia y perece; el aire que le rodea ha perdido, pues, la facultad de conservar la vida, y, si entonces se analiza químicamente, se ve que ha perdido al mismo tiempo la mayor parte de su oxígeno. Si en seguida se coloca otro animal en un recipiente lleno de gas nitrógeno, vésele perecer muy pronto; mientras que si se encierra un tercer animal en un recipiente con oxígeno, respira con actividad y no presenta ningún síntoma de asfixia.

Es, pues, evidente que *á la presencia del oxígeno debe el aire sus propiedades vivificantes*.

El descubrimiento de este hecho importante no data sino de fines del siglo pasado (1777), y se debe á Lavoisier, uno de los químicos franceses más célebres, que á pesar de sus numerosos títulos al reconocimiento público, murió en el patíbulo víctima de la tormenta revolucionaria.

§ 118. Por el acto de la respiración, decíamos, todos los animales toman del aire que les rodea cierta cantidad de oxígeno; pero los cambios que éstos determinan así en la composición de dicho fluido no se limitan á lo expresado: el oxígeno que desaparece es reemplazado por otro gas, el ácido carbónico, que, lejos de ser como el primero propio para la conservación de la vida, hace perecer á los animales que le respiran en cantidad algo considerable. La producción de esta sustancia es un acto no menos general entre los animales que la absorción del oxígeno; y en estos dos fenómenos consiste esencialmente el trabajo *respiratorio*.

§ 119. En cuanto al nitrógeno del aire respirado, su volumen cambia poco; y el uso principal de este gas parece que es debilitar la acción del oxígeno.

Hase observado, sin embargo, que, en algunos casos, desaparece durante la respiración una parte del nitrógeno del aire, y que otras veces aumenta su volumen. Parece aún que los animales lo absorben y exhalan continuamente, como exhalan y absorben los líquidos contenidos en la cavidad del pericardio, peritórneo, etc., y que las variaciones que acabamos de señalar dependen de que estas dos funciones opuestas se equilibran por lo general, de modo que su resultado no es aparente, sino que la absorción del nitrógeno es algunas veces más activa que su exhalación, mientras que otras veces la cantidad de este gas exhalado excede de la absorbida: de donde resulta tan luego una disminución, como un aumento en su volumen, cuando se compara antes y después de haber servido á la respiración.

§ 120. Finalmente, despréndese también del cuerpo, con los productos de la respiración, cantidad más ó menos considerable de vapor de agua; esta exhalación, que ha recibido el nombre de *transpiración pulmonar*, es mismo uno de los fenómenos más aparentes de la respiración, cuando, por la acción refrigerante del aire ambiente, se condensan estos vapores á la salida del cuerpo y forman una nube más ó menos espesa.

§ 121. En tanto que el aire respirado pasa por los cambios que acabamos de indicar, la sangre, que recorre las membranas en contacto con dicho fluido experimenta igualmente modificaciones importantes: vuélvese á propósito para conservar la vida, y pasa del color rojo oscuro al rojo encendido. Para observar bien este hecho, basta abrir una arteria de un animal vivo y al mismo tiempo comprimir su pescuezo para impedir que el aire entre en los pulmones; la sangre que saldrá de la arteria será al principio de color rojo vivo, pero no tardará en tomar un color oscuro y volverse sangre venosa. Si entonces se permite de nuevo el acceso de aire á los pulmones, se ve á este líquido cambiar otra vez de color y volver á tomar el propio de la sangre arterial.

§ 122. **Teoría de la respiración.** — Tales son los principales fenómenos de la respiración de los animales. Tratemos ahora de darnos cuenta de ellos y encontrar su explicación.

Y primeramente ¿qué es del oxígeno que desaparece, y cuál el origen del ácido carbónico producido durante el ejercicio de dicha función?

Cuando se quema carbón en un recipiente lleno de aire se ve que el oxígeno desaparece y es reemplazado por un volumen igual de gas ácido carbónico; al mismo tiempo ocurre un desprendimiento considerable de calor. Ahora bien, los mismos fenómenos se verifican durante la respiración, y se observa siempre una notable relación entre la cantidad de oxígeno empleada por el ani-

mal y la de ácido carbónico que produce; en circunstancias ordinarias, el volumen de este último es poco inferior al del primero, y todos los animales, como veremos por lo que sigue, desprenden más ó menos calor.

Existe, pues, la mayor analogía entre los principales fenómenos de la respiración y los de la combustión del carbón, y esta paridad en los resultados ha hecho pensar que debía ser una misma la causa de ambos fenómenos. Hase supuesto, por consiguiente, que el oxígeno del aire inspirado se combinaba en el interior del órgano de la respiración con el carbono procedente de la sangre, y que, de esta especie de combustión, se formaba el ácido carbónico cuya expulsión es de cierta manera el complemento del acto respiratorio.

Mas esta teoría, propuesta por el célebre Lavoisier, y adoptada hasta hace pocos años por la mayor parte de los fisiólogos, no está completamente de acuerdo con los resultados de la experiencia, y, por lo tanto, debe modificarse; pues hoy en día se sabe que el consumo de oxígeno por la respiración no tiene relación inmediata con la producción del ácido carbónico; este último gas existe completamente formado en la sangre venosa, y viene simplemente á exhalarse á la superficie del órgano respiratorio mientras que el oxígeno del aire, absorbido por esta misma superficie, va á disolverse en el líquido nutricio y da á éste las cualidades características de la sangre arterial.

§ 123. Para probar que el ácido carbónico no es producto de la combinación directa del oxígeno inspirado con el carbono exhalado por la sangre que atraviesa el órgano respiratorio, basta un sencillísimo experimento, hecho, hace algunos años, por William Edwards. Colóquese en un recipiente lleno de nitrógeno, ó de cualquiera otro gas que no contenga oxígeno, un animal susceptible de resistir por bastante tiempo á la asfixia, una rana por ejemplo; hágase después el análisis del gas: se encontrará que el animal, así privado del oxígeno, habrá continuado sin embargo desprendiendo ácido carbónico como si hubiese respirado en el aire. Ahora bien, en este caso, es imposible atribuir la formación del ácido carbónico á una combustión directa ocurrida en el pulmón, pues esta combustión habría necesariamente cesado tan luego como el aire respirado dejase de contener oxígeno; continuando el desprendimiento del ácido carbónico, es necesario que dicho gas exista ya formado en el cuerpo del animal y sea simplemente exhalado por el órgano respiratorio.

§ 124. En efecto, la sangre es la que produce el ácido carbónico desprendido durante el acto respiratorio, y recientemente se ha comprobado que existe siempre en disolución en el líquido

nutricio cierta cantidad de este gas, lo mismo que un poco de oxígeno y nitrógeno. Los trabajos de Magnus, químico de Berlín, han demostrado también que la sangre posee la propiedad de disolver cierta cantidad de todo gas que se ponga en contacto con ella; pero que cuando este líquido, hallándose cargado de un gas, absorbe otro, no lo hace sino abandonando cierta cantidad del primero, el cual parece que cede sitio para el segundo. Así es que, cuando se agita sangre venosa con hidrógeno, una parte de dicho gas se disuelve, y cierta cantidad del ácido carbónico que ya existía en el líquido se desprende<sup>1</sup>. Cuando, en lugar de emplearse hidrógeno, como en el experimento precedente, se emplea oxígeno, se obtiene análogo resultado: la sangre venosa disuelve cierta cantidad de dicho gas, abandona una cantidad casi equivalente de su ácido carbónico, y á causa de esta sustitución, cambia de color pasando del rojo oscuro al rojo vivo, y se vuelve semejante á la sangre arterial.

§ 125. Vese que, en este experimento, se reproducen todos los principales fenómenos de la respiración independientemente de la influencia de la vida y sólo por efecto de la propiedad que posee la sangre de disolver alternativamente los diversos gases que estén en contacto con ella. Es pues presumible que lo mismo sucede en el interior del cuerpo de los animales vivos, y que la respiración consiste únicamente en la absorción que coincide con el desprendimiento y la exhalación del ácido carbónico y de los demás gases, de los cuales se encuentra la sangre previamente cargada.

Sábase, por otra parte, que la interposición de una membrana análoga á la que forma las paredes de los vasos respiratorios en que circula la sangre no impide el paso de los gases: si se pone sangre venosa en una vejiga bien cerrada y se expone ésta á la acción del oxígeno, se observarán los mismos fenómenos que si se pusiesen estos dos fluidos en contacto inmediato: el oxígeno se disolverá en parte en la sangre y será reemplazado por el ácido carbónico que se desprenderá de dicho líquido, cuyo color pasará al mismo tiempo del rojo pardo al rojo vivo. Ya hemos visto que los órganos respiratorios están conformados de la manera más favorable á la absorción y se sabe por numerosos experimentos que todas las sustancias volátiles introducidas en el torrente de la circulación son, lo mismo que el ácido carbónico, expulsadas poco á poco del cuerpo por la exhalación que se verifica en sus órganos.

<sup>1</sup> Este desprendimiento es una consecuencia de la difusibilidad de los gases. (Véanse mis *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, t. 1, p. 456 y siguientes.)

§ 126. Por este conjunto de observaciones se puede formar una idea exacta de lo que pasa en el acto de la respiración.

La sangre venosa que llega de todas las partes del cuerpo tiene en disolución ácido carbónico en cantidad bastante considerable, un poco de nitrógeno y algunas trazas de oxígeno. Pero no está saturada de este último gas, y al atravesar el aparato respiratorio, donde se encuentra en contacto casi directo con el aire, halla cantidades considerables. Lo disuelve, pues, y al mismo tiempo una parte del ácido carbónico de que está cargada, obedeciendo á la ley de la difusión de los gases, se desprende para esparcirse en el aire<sup>1</sup>. Si la sangre tiene en disolución poco nitrógeno, puede absorberlo también: mas, por lo general abandona un poco de él. Finalmente, no estando el aire inspirado saturado de humedad, se verifica del mismo modo desprendimiento de cierta cantidad de vapor de agua; de esta manera se efectúan cambios entre la sangre y el aire.

En resumen, *la respiración consiste, esencialmente, en un fenómeno de absorción y de exhalación, á consecuencia de cual la sangre que se pone en contacto con el aire atmosférico se desprende de su ácido carbónico y se carga de oxígeno.*

Luego, la sangre muy cargada de ácido carbónico presenta todos los caracteres de la sangre venosa, y la cargada de oxígeno libre es de color vivo y constituye la sangre arterial.

Así es que el cambio respiratorio tiene por efecto, de una parte la transformación de la sangre venosa en sangre arterial, de otra parte la alteración del aire, que se encuentra pobre de oxígeno y cargado de ácido carbónico, modificación que le hace inepto para servir, como anteriormente, sea á la respiración de los animales, sea á la conservación de la combustión ordinaria.

En cuanto al origen del ácido carbónico contenido en la sangre y exhalado como se ha dicho por el trabajo respiratorio, hay motivos para creer que este gas se forma á la vez en todas las partes del cuerpo, y resulta de la combinación del oxígeno absor-

<sup>1</sup> Es esencial tener presente que la cantidad de ácido carbónico contenida en la sangre venosa, aunque pequeña, basta para darse cuenta de toda la cantidad de dicho gas desprendida durante la respiración. Así, en el hombre, este líquido contiene por lo menos la quinta parte de su volumen; y como la cantidad de sangre que atraviesa los pulmones en un minuto puede valuarle en unos cinco litros, debe pasar durante este mismo tiempo cosa de un litro de gas ácido carbónico: luego, la cantidad de este gas desprendido por la respiración durante el mismo lapso de tiempo no pasará, aun por los cálculos más elevados, de 135 centímetros cúbicos, ó lo que es lo mismo un poco más de medio litro.

bido con el carbono procedente de las materias orgánicas contenidas en el fluido nutricio ó tomadas de los tejidos. *El fenómeno esencial de la respiración no es, pues, otra cosa que una especie de combustión que se opera en el interior del organismo*, y los cambios que se efectúan entre la sangre y la atmósfera, por la superficie respiratoria, no son sino los preliminares y las consecuencias de dicho trabajo.

§ 127. **Actividad de la respiración.** — Hemos visto que la respiración es indispensable para la conservación de la vida de todos los seres animados, mas el grado de actividad de esta función varía mucho en los diferentes animales.

De todos estos seres, los que tienen respiración más activa son las aves; en un tiempo dado, consumen más aire que los demás animales, y sucumben también más pronto á la asfixia.

Los mamíferos tienen igualmente respiración activísima, y se han hecho muchos experimentos para apreciar la cantidad de oxígeno que uno de ellos, el hombre, emplea de esta manera en un tiempo dado. Esta cantidad varía según los individuos, la edad y otras diversas circunstancias; pero según los trabajos más recientes, parece que es, por término medio, de unos 550 litros ó decímetros cúbicos por día. Ahora bien, el oxígeno no forma sino las 21 centésimas partes (en volumen) del aire atmosférico; dedúcese, pues, que el hombre consume, durante dicho espacio de tiempo, lo menos 2,750 litros ó decímetros cúbicos de este último fluido<sup>1</sup>.

Los animales de las clases inferiores tienen, por lo general, respiración bastante más limitada, sobre todo los que viven en el agua.

Pero, no obstante, si se piensa en el consumo enorme de oxígeno que todos estos seres deben hacer cada día, se ve que la atmósfera sería á la larga despojada de él, y que todos los seres perecerían asfixiados, si la naturaleza no emplease medios poderosos para renovar sin cesar la cantidad de gas esparcido al rededor de la superficie del globo.

Esto es efectivamente lo que sucede; y es digno de notarse que

<sup>1</sup> Equivocárase mucho el que supusiese, según estos cálculos, que la cantidad de aire que queda indicada podría bastar para el consumo de la respiración de un hombre durante veinte y cuatro horas; pues nosotros no podemos utilizar todo el oxígeno contenido en el aire que entra en nuestros pulmones, y desde que la atmósfera que nos rodea contiene cierta proporción de ácido carbónico, se hace imposible la vida en ella. Un hombre hace entrar en sus pulmones de 7 á 8 metros cúbicos de aire por día, y para respirar con comodidad en un lugar cerrado tiene necesidad de cantidad mucho mayor. Así es que en las salas de espectáculo y en otros lugares en donde se reúnen número considerable de personas, es preciso para cada una hasta 6 ó aun 10 metros cúbicos de aire por hora.

este medio constituye precisamente un fenómeno del mismo orden que aquél cuyos efectos está destinado á compensar: llámase *respiración de las plantas*.

Los vegetales absorben el ácido carbónico esparcido en la atmósfera, y, bajo la influencia de la luz solar, extraen el carbono y dejan libre el oxígeno. Así es que el reino vegetal da á los animales el oxígeno que necesitan, y que la respiración de los animales suministra sin cesar á los vegetales el ácido carbónico indispensable á su crecimiento.

Vese pues que la naturaleza de la atmósfera depende en gran parte de la relación que existe entre los animales y los vegetales, y que á su vez la composición del aire debe regular de cierto modo el número relativo de dichos seres <sup>1</sup>.

§ 128. Existe siempre admirable relación entre la cantidad de aire consumido por cada animal en un tiempo determinado y la vivacidad de sus movimientos. Los animales de movimientos lentos y raros tienen, en igualdad de circunstancias, respiración mucho menos extensa que los que se mueven con rapidez y permanecen poco tiempo en reposo. Las ranas y los sapos, por ejemplo, consumen menos aire que ciertas mariposas, aunque su cuerpo sea de volumen mucho mayor que el de dichos insectos; mas los batracios citados no se mueven sino poco y lentamente, mientras que las mariposas ejecutan sin cesar los movimientos más rápidos.

§ 129. La actividad de la respiración varía también en un mismo animal, según las circunstancias en que se halla colocado; y se puede sentar, en tesis general, que todo lo que tienda á disminuir la energía del movimiento vital determina una disminución, ya en la absorción del oxígeno, ya en la proporción relativa del ácido carbónico exhalado, mientras que, por otra parte, todo lo que aumenta la fuerza del animal produce un cambio correspondiente en la extensión de la respiración.

Así, en los animales de corta edad, dicho trabajo es menos activo que en los mismos seres en la edad adulta. Durante el sueño, se disminuye igualmente la extensión de la respiración. La fatiga, la abstinencia, el abuso de licores espirituosos producen el mismo efecto. Un ejercicio moderado y la alimentación activa, al contrario, esta función.

<sup>1</sup> Según esto podría creerse que en las poblaciones en donde viven reunidas gran número de personas y en donde existen pocas plantas, la atmósfera debe ser menos rica en oxígeno que en las campiñas; pero sería un error. El análisis químico demuestra que el aire tiene en todas partes la misma composición; esta uniformidad debe atribuirse á las corrientes que agitan continuamente la atmósfera.

Hasta aquí hemos tratado solamente de los fenómenos de la respiración, considerados en sí mismos, y sin tener presente los órganos en que se producen. Veamos ahora cuáles son los instrumentos destinados á esta función importante y veamos también cómo cambian en los diversos animales.

#### APARATO DE LA RESPIRACIÓN

§ 130. En los animales de organización más sencilla, no se efectúa la respiración en ningún aparato especial, sino que se verifica en todas las partes que están en contacto con el elemento en que viven estos seres y del cual toman el oxígeno necesario á su existencia.

En la envoltura general del cuerpo, ó piel, se efectúa también una respiración más ó menos lenta en la mayor parte de los animales de las clases más elevadas, y principalmente en el hombre; pero, en todos estos seres, una parte determinada de la membrana tegumentaria está más especialmente destinada á obrar sobre el aire, y su estructura se modifica á fin de desempeñar mejor esta función.

La parte así modificada para obrar sobre el aire presenta textura blanda, esponjosa y delicada: recibe gran cantidad de sangre, y está siempre dispuesta de manera que presenta, en un volumen comparativamente pequeño, una superficie tanto más extensa, cuanto más activa ha de ser la respiración. Púedese también decir, en tesis general, que dicho órgano es un instrumento tanto más poderoso, cuanto más se aleje su organización de la de la envoltura general del cuerpo, y que, en igualdad de circunstancias, la respiración que se verifica por la piel es tanto menos activa, cuanto más extensión tenga en dichos órganos especiales.

§ 131. Por lo demás, la estructura de los órganos respiratorios varía según se hallen destinados á estar en contacto con el aire en estado de gas, ó á obrar bajo de agua que tenga en disolución cierta cantidad del expresado fluido.

En efecto, en todos los animales que viven sumergidos en agua y que respiran por intermedio de este líquido, los instrumentos especiales de la respiración son salientes, y se designan con el nombre de *branquias*; mientras que, en los animales de respiración aérea, no existen branquias, pero sí cavidades interiores que sirven para el mismo uso y que se llaman *pulmones* ó *tráqueas*.