

He aquí (fig. 665) el aparato de que se ha valido Dulong para estas averiguaciones. Se compone de dos cajas concéntricas de hojalata, ambas de paredes muy delgadas, y separadas por ligeros soportes. La caja interior constituye el recinto destinado á contener el animal que sirve para el experimento, y al que se ha encerrado previamente en una jaula de mimbre. Este recinto está en comunicación con el exterior por dos tubos ó columnas de hojalata, una de ellas en relación con un gasómetro lleno de aire, y la otra con uno lleno de agua. La primera columna penetra directamente en la caja interior y por ella se renueva constantemente el aire para la respiración del animal. La segunda termina por abajo en un serpentín cuya abertura desemboca á la derecha de la caja: por ella salen los gases espirados, de suerte que, gracias al juego de los gasómetros, se mantiene de continuo una corriente de aire alrededor del animal. El agua del aparato se ha de agitar para que se distribuya uniformemente el calor cedido por

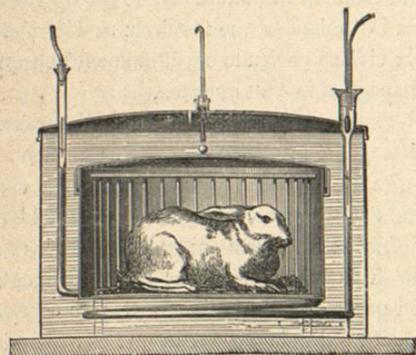


Fig. 665.—Aparato de Dulong para medir el calor desarrollado en el acto de la respiración

el animal y por los gases que circulan por el serpentín. Un termómetro marca la temperatura del agua al principio ó al fin ó durante las varias fases del experimento. Como se ve, el aparato no es otra cosa sino un calorímetro dispuesto de modo que el animal, viviendo en un aire renovado constantemente, pueda respirar en condiciones normales. Habíase analizado previamente el aire suministrado; en virtud de otro análisis se conocía la composición de los gases espirados; se cubicaban y medían los volúmenes y las temperaturas del aire y de los gases en cuestión, y del mismo modo se conocían y determinaban el peso en agua del calorímetro y su temperatura. Procediendo, pues, de este modo, Dulong podía calcular: 1.º, el calor cedido por el animal al calorímetro en un tiempo dado; 2.º, la cantidad total de oxígeno absorbido por aquel en el mismo espacio de tiempo; 3.º, la del ácido carbónico exhalado. Según los principios adoptados por dicho físico, los cuales no eran otros sino los formulados por Lavoisier, estos datos bastaban para calcular las cantidades de carbono y de hidrógeno quemadas por el animal, y que multiplicadas por sus calores de combustión, daban la cantidad total de calor desarrollada por la respiración del animal (1).

En el método de Dulong y Petit, el agua del gasómetro absorbía parcialmente el ácido carbónico exhalado, de suerte que no se podía hacer la dosificación con toda la exactitud apetecible. El procedimiento discurrido por Regnault y Reiset no adolece de este inconveniente, y las determinaciones de ambos físicos relativas á los datos de la respiración animal son todo lo posible rigurosas. La figura 666 representa el aparato

(1) Despretz ha obtenido los mismos resultados por un método casi igual; pero Regnault y Reiset se han ocupado posteriormente de la misma cuestión, valiéndose de aparatos perfeccionados y de métodos más exactos que les han permitido eludir varias causas de error. He aquí, según M. Gavarret, los resultados principales de estos últimos é importantes experimentos:

- 1.º Todos los animales absorben oxígeno que se combina con los materiales de la sangre. La cantidad absorbida varía con la clase y la especie zoológica, y en un mismo animal, con sus circunstancias fisiológicas.
- 2.º Todos los animales exhalan ácido carbónico; y aparte de algunos casos excepcionales y muy impor-

que han empleado con este objeto. Como se ve, el animal está metido en una campana de cristal tubulada, y cubierta con un cilindro de vidrio de mayor dimensión que descansa en la misma peana que la campana. Este cilindro estaba lleno de agua á una temperatura constante. Véase ahora en virtud de qué disposición el aire de la campana, á pesar de la absorción de oxígeno por la respiración del animal, conservaba por una parte una composición constante, y cedía por otra el ácido carbónico exhalado. A la derecha del grabado se ven dos pipetas que comunican entre sí por un tubo de caucho vulcanizado, formando de este modo dos vasos comunicantes. Una y otra están llenas hasta su mitad de potasa cáustica, y por consiguiente el líquido tiene en ambas el mismo nivel. Por medio de un mecanismo de balancín las pipetas se movían vertical-

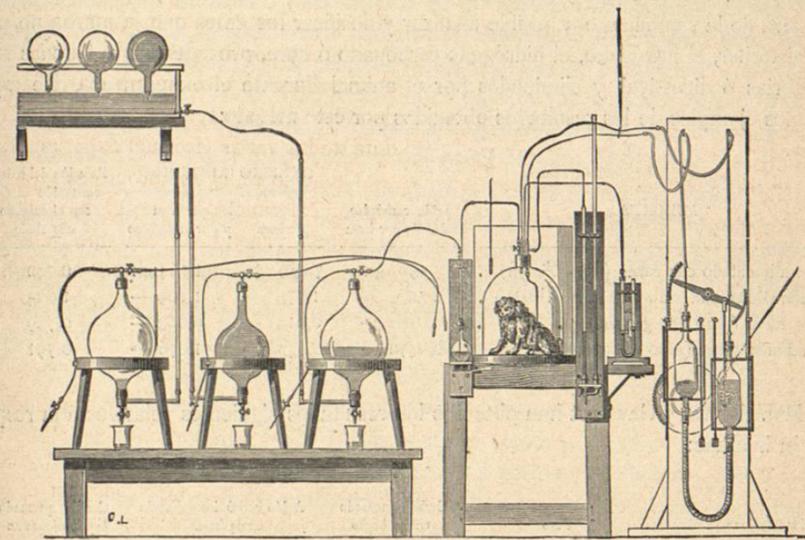


Fig. 666.—Aparato de Regnault y Reiset para el estudio de la respiración de los animales

mente, elevándose la una mientras bajaba la otra. A causa de este movimiento alternado, el líquido de la pipeta que subía pasaba á la otra, y lo reemplazaba el aire de la campana que penetraba por un tubo que ponía en comunicación á cada pipeta con ella. Al ponerse este aire en contacto con la potasa cáustica, perdía parte de su ácido carbónico, volvía á la campana en el momento en que la pipeta bajaba, y así sucesivamente.

Como el aire respirado por el animal perdía de este modo la cantidad de oxígeno absorbida por la respiración y transformada en ácido carbónico, su tensión disminuía sin cesar á medida que su composición cambiaba. Era menester reemplazar este oxígeno, para lo cual servía la parte del aparato que se ve á la izquierda del grabado.

tantes, el peso del oxígeno del ácido carbónico exhalado es *menor* que el del oxígeno absorbido. Como todo este oxígeno queda eliminado en forma de agua y de ácido carbónico, la porción de dicho gas que no se combina con el carbono se une al hidrógeno de la sangre, de suerte que la suma de las cantidades de oxígeno combinadas con el carbono y el hidrógeno representa siempre la totalidad del oxígeno absorbido por las superficies respiratorias.

3.º En el estado fisiológico ó de salud y sometidos á su alimentación especial, los mamíferos y las aves exhalan *constantemente* nitrógeno ó ázoe, siquiera la exhalación de este gas sea siempre muy escasa (por lo común no llega á un *centésimo* del peso del oxígeno absorbido).

Consistía esta parte en unas grandes redomas llenas de cloruro de calcio en las que penetraba oxígeno puro por un tubo superior, mientras que el cloruro salía por otro inferior. Dichas redomas estaban en comunicación con un frasco lavador que contenía una solución de potasa, y el oxígeno pasaba burbuja á burbuja, después de atravesar esta solución, á la campana en que estaba el animal sometido al experimento. La salida ó paso de dicho gas se efectuaba en virtud de la diferencia de presión del oxígeno de las redomas y del aire de la campana.

Así pues, el animal respiraba en un aire de composición y temperatura constantes, y como además se recogía el ácido carbónico exhalado, podía valuarse rigurosamente la cantidad consumida de oxígeno así como la del ácido carbónico suministrado por la respiración. Por otra parte, como únicamente el ácido carbónico desaparecía de la atmósfera de la campana, era posible analizar y dosificar los gases que la potasa no podía absorber, el nitrógeno, el hidrógeno carbonado ó libre, procedentes de las vías respiratorias ó digestivas y eliminados por el animal durante el experimento. He aquí algunos ejemplos de los resultados obtenidos por este método:

ANIMALES	Acido carbónico exhalado por hora	OXÍGENO CONSUMIDO		Relación del oxígeno contenido en CO <sup>2</sup> con el oxígeno absorbido
		por hora	por hora y por kilogramo	
Perro alimentado con carne (peso 6 <sup>k</sup> ,393). . .	7,590 gr.	7,449 gr.	1,164 gr.	0,742
Gallina alimentada con avena (peso 1 <sup>k</sup> ,610). . .	2,520 —	1,775 —	1,109 —	1,024
Cinco ranas (peso 287 gramos). . . . .	0,0182 —	0,0181 —	0,063 —	0,729
Cuarenta saltones (peso 40 gramos). . . . .	0,0472 —	0,0434 —	1,076 —	0,791

MM. Andral y Gavarret han obtenido los resultados siguientes relativos á la respiración humana:

Edad de los individuos	Peso	Carbón quemado en 24 horas	Acido carbónico exhalado en 24 horas	Carbón quemado por kilogramo
8 años. . . . .	22,25 ks.	120,8 gr.	442,9 gr.	5,4 gr.
16 — . . . . .	53,37 —	259,2 —	950,4 —	4,8 —
40 á 60 — . . . . .	68,8 á 65,5 —	246,4 —	888,8 —	3,6 —
60 á 80 — . . . . .	65,5 á 61,2 —	229,8 —	809,6 —	3,4 —

Resumiendo lo expuesto en este artículo, diremos que el calor animal dimana enteramente de combustiones; el oxígeno del aire ambiente es el elemento comburente; los materiales orgánicos eliminados por la digestión, el elemento combustible. Así pues, cualquier animal debe á combinaciones químicas todo el calor indispensable para conservar la temperatura que para su existencia necesita.

#### IV

##### CALOR PRODUCIDO POR LOS VEGETALES

Hace ya mucho tiempo que se ha observado que los vegetales producen calor en el acto de la germinación. Los cerveceros, para la preparación de la *malta*, hacen pasar á los granos de cebada, previamente empapados en agua y puestos en capas más ó menos espesas sobre el suelo asfaltado de las salas llamadas *germinaderos*, por un

principio de germinación. Durante esta operación, los montones de granos se calientan espontáneamente, calor que es tanto mayor cuanto más rápida la germinación. Gœpert ha estudiado el mismo fenómeno en los granos ó simientes de varios vegetales, como trigo, avena, maíz, guisantes, cañamones, etc. Concretándose á la primera fase de la germinación, á fin de evitar la causa de error en que podría incurrir si dejaba que se floreciesen, dicho físico observó que la temperatura de las simientes excedía á la de la atmósfera en los siguientes grados: 11°,25 á 12°,25 el trigo y la avena; 6°,25 á 7°,50 el maíz; 7°,5 á 8°,5 los guisantes y los cañamones, y 17°,5 el trébol.

El gran naturalista Lamarck fué quien hizo el primer estudio sobre la producción del calor durante la florecencia, y en 1777 observó el notable caldeo que presentan los espádices del *Arum italicum* ó yaro de Italia en el momento de abrirse la espata ó de la dehiscencia de las anteras. Otros naturalistas observaron fenómenos parecidos en varias plantas de la familia de las aroideas; y los nombres de Sennebier, T. de Saussure, Hubert, Vrolick, Vriese, Dutrochet y otros muchos van unidos á estas indagaciones de fisiología y física vegetales. El exceso de la temperatura del espádice sobre la del aire ambiente puede llegar á 10 grados y aun pasar de ellos. M. Emery menciona en su obra titulada *La Vida vegetal* una observación curiosa hecha por Hubert, plantador de la isla de la Reunión. "La madre de Hubert, dice, era ciega. Paseándose cierto día por el jardín, hubo de llamarle la atención el suave olor que despedían unas flores; acercóse á ellas, las tocó según costumbre de las personas afectadas de tan cruel enfermedad, y quedóse sorprendida al experimentar una sensación de calor muy marcada. Llevó al punto la planta á su hijo, quien vió que era un *Arum*, y le participó su descubrimiento. Seducido Hubert por la novedad del fenómeno, lo estudió con cuidado y multiplicó y varió las condiciones del experimento. Una vez vió que la temperatura de un termómetro puesto entre cinco espádices atados juntos se elevó á 44°, siendo la del aire 19°: la influencia de doce espádices reunidos del mismo modo la hizo subir á 40°,5, ó sea 30°,5 más que la de la atmósfera. Los filodendros, otras especies de la misma familia, han dado con un solo espádice excesos de temperatura de 15 á 18 grados."

Teodoro de Saussure ha observado, en el momento de abrirse las flores de varios vegetales, un exceso de temperatura que llegaba á 1° en las flores masculinas de la calabaza, á 0°,5 en las hermafroditas de la bignonia de Virginia, y á 0°,3 en las florecillas de la tuberosa de los jardines. Pero la *Victoria regia*, esa reina de las aguas, de innumerables estambres y de dimensiones inusitadas, puesto que su diámetro, aunque notablemente reducido por la cautividad, aún llega á tres decímetros en nuestros invernaderos, era la flor que debía dar mayor número de grados; y en efecto, la temperatura de una de ellas, nacida en el Jardín botánico de Hamburgo, llegaba en el momento de abrirse á 40°,5 centígrados, mientras que la del agua del acuario era tan sólo de 20°,8 y la de la atmósfera del invernadero 28°,5. Otras flores, aunque no tan grandes, experimentan en la misma época un caldeo bastante notable; por ejemplo, el de la magnolia de grandes flores es de 3 á 4 grados.

Las observaciones practicadas por Dutrochet en los espádices de las aroideas le han hecho reconocer que existía una periodicidad cotidiana en el caldeo de estos órganos; viene á ser como los paroxismos de una fiebre, que llegan de día á su maximum y de noche á su minimum, y se repiten á la misma hora en una misma planta, y á horas distintas en plantas diferentes.

Pero si las plantas producen calor durante los períodos, muy limitados por cierto, de la germinación y de la florecencia, ¿acontece lo propio en las demás épocas de su

vida, durante el fenómeno ordinario de la vegetación? Por espacio de largo tiempo se han tenido dudas acerca de ello, y aun de las observaciones ha resultado con frecuencia, en lugar de un exceso de temperatura, cierta disminución con respecto á la del aire ambiente. Pero los experimentos de Dutrochet y de Gœppert han demostrado que estos resultados negativos procedían de que los observadores no habían tenido en cuenta las causas de error, como la radiación, la conductibilidad y sobre todo la evaporación. Veamos de qué medio se valía el primero de dichos físicos para comprobar la producción del calor en el fenómeno de la vegetación. La figura 667 representa el aparato que empleaba con tal objeto: *a* y *b* son dos espárragos; al uno *b* se le ha marchitado sumergiéndole en agua á 50 grados; al otro *a*, enteramente igual al primero, se le ha metido luego de cortado en un frasco lleno de agua fresca para que continuara viviendo. Se llena de arena una maceta y se ponen en ella los dos espárragos, uno en su frasco y el otro colgado de un hilo en una rama seca: en seguida se introduce en cada uno de ellos los dos extremos *ee'* de una aguja termoelectrica *c*, cuyos hilos están empalmados al galvanómetro multiplicador. Se pone sobre la maceta una placa de yeso MN con una abertura á propósito, y se cubre todo ello con un fanal de vidrio. El aire del fanal se satura de humedad, de suerte que se evita toda evaporación. De este modo ha observado Dutrochet en las partes verdes y vivas de los vegetales un exceso de temperatura sobre el aire ambiente, exceso muy débil en verdad, por cuanto consiste en algunas décimas de grado, pero que no deja de ser efectivo y basta para probar que las plantas producen calor en el acto de la vegetación ordinaria.

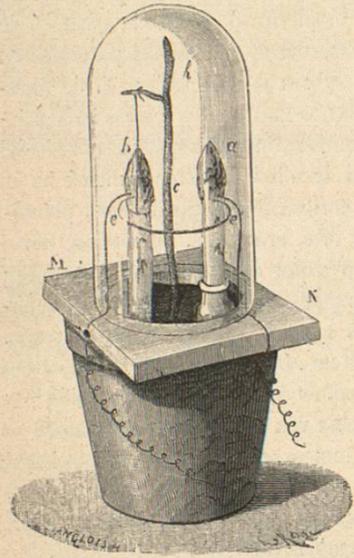


Fig. 667. — Aparato Dutrochet para medir el calor desarrollado en la vegetación

Para deducir las causas del calor propio de los vegetales, es preciso analizar las tres funciones principales de la germinación, la florescencia y la vegetación en general. Pues bien, de los muchos trabajos que á este efecto se han hecho resulta que la simiente necesita para germinar el oxígeno del aire, el cual le sirve para quemar una parte de su carbono y de su hidrógeno, y esta reacción química es la que da lugar á la producción del calor observado. Lo propio acontece con la que se manifiesta de un modo tan marcado en las flores, y sobre todo en los órganos de la reproducción en el momento de la emisión del polen. Aparte de estos dos actos que sólo comprenden una parte limitada de la vida de la planta, el fenómeno de la vegetación es más complejo. Sábese que, por efecto de la influencia de la luz, las partes verdes de las plantas de clorofila descomponen el ácido carbónico de la atmósfera, fijan el carbono y desprenden oxígeno, función que corresponde á la de la asimilación en los animales. Otra función de la vida vegetal es la respiración, que consiste, por el contrario, en la absorción del oxígeno atmosférico y en el desprendimiento de ácido carbónico y de agua. Este último fenómeno es el que da lugar á la producción del calor propio de la vegetación.

Estas dos funciones tan distintas reciben comúnmente los nombres de *respiración diurna* y de *respiración nocturna*, porque la primera se efectúa de día y la segunda

principalmente de noche. Pero en esto hay una confusión que nuestro gran fisiologista Claudio Bernard ha hecho manifiesta en los siguientes términos:

“Con la denominación única de respiración vegetal, dice, se han confundido dos clases de hechos muy diferentes y que no tienen ningún carácter común, como no sea el que consisten en un cambio de gases entre la planta y la atmósfera. La verdad es que los dos fenómenos son directamente opuestos: uno que consiste en una absorción de ácido carbónico y una restitución de oxígeno, mientras que el otro consiste, por el contrario, en una absorción de oxígeno y una formación de ácido carbónico. El primero de estos fenómenos, ó sea el de la reducción del ácido carbónico, es exclusivo de ciertos elementos del vegetal, de la clorofila, cuya facultad especial, inmanente en su substancia, solamente se manifiesta cuando esta substancia está sometida á la influencia solar. Débese, pues, reconocer aquí una propiedad limitada que depende de la irritabilidad funcional, y no una propiedad general, fruto de la irritabilidad nutritiva. Podrá designarse, si se quiere, este modo de ser de la clorofila con el nombre de *propiedad clorofilica*, y asimilarla á todas las demás propiedades funcionales. Por el contrario, el fenómeno inverso, que consiste en una absorción de oxígeno y un desprendimiento de ácido carbónico, depende de una propiedad general propia de toda célula orgánica y perteneciente á todo cuanto vive. Este fenómeno es enteramente semejante en el vegetal al acto respiratorio que se observa en los animales; y sólo merece el nombre de respiración en los dos reinos. Los cambios gaseosos entre los vegetales y la atmósfera están dirigidos por dos influencias distintas y antagónicas: la *propiedad clorofilica* y la *propiedad respiratoria* propiamente dicha. Esta es enteramente general y común á todos los elementos anatómicos vegetales ó animales; no se paraliza ni suspende jamás, y tiene todos los caracteres de la irritabilidad nutritiva, á saber, la continuidad y la universalidad. Se la observa en las flores, las yemas, las semillas, los tallos y las raíces; se la encuentra lo mismo en las plantas sin clorofila que en las orobánqueas y en los hongos; por último, existe así también en los órganos verdes, en los que constituye lo que se llama *respiración nocturna* ó *respiración á la sombra*, oponiéndola á la función diurna clorofilica que necesita de los rayos solares para ejercerse. Pero tanto de día como de noche, á la sombra ó al aire ó en el agua, la respiración no cesa jamás, porque su cesación sería la muerte. En resumen, la propiedad respiratoria, propiamente dicha es común al vegetal y al animal; uno y otro necesitan oxígeno para efectuar las combustiones orgánicas que tienen lugar en ellos. Hay aquí por tanto una sorprendente analogía que, en lugar de probar la dualidad de la vida en ambos reinos, evidencia por el contrario su armoniosa unidad.”

Vese, pues, en definitiva, y aquí queríamos venir á parar al colocarnos en el punto de vista exclusivamente físico, que el calor propio de los seres vivientes, animales ó vegetales, reconoce por causa un fenómeno de combustión, es decir, una combinación química.

## V

### CALOR DESARROLLADO POR LAS ACCIONES MECÁNICAS

Las acciones mecánicas, el frotamiento, la percusión, la compresión, desarrollan calor, lo mismo que los movimientos más íntimos que constituyen los fenómenos de las combinaciones químicas. No faltan por cierto ejemplos de esta transformación del movimiento en calor, pudiendo cualquiera observarlos fácilmente. Citemos algunos.