

misma sustancia! Los mares actuales proceden de las llamas de la Tierra antediluviana.

Por consiguiente, debió haber en cierta época una precipitación de ácido nítrico, disolución de metales en él, y desprendimiento de gas nitroso, acompañado todo de una efervescencia y de una elevación de temperatura formidables, que transformarían á la Atmósfera en un hirviente mar, recargado de vapores corrosivos cuyas energías reacciones producirían una lucha indescriptible. El predominio de la sal marina da lugar á suponer que el cloro no era el menos abundante de los gases que entraban en la composición de esos vapores primitivos. Ampère supone que habiéndose formado un nuevo mar á consecuencia de un nuevo enfriamiento, no debió ocupar ya toda la superficie del núcleo sólido; que aparecieron islas sobre las aguas, y que la superficie del globo se vió rodeada de una envoltura formada, como la nuestra, de fluidos elásticos permanentes, pero en proporciones al parecer muy distintas. En tan apartadas épocas, dicha cubierta contenía mucho más ácido carbónico que hoy, siendo impropia para la respiración de los animales, pero muy favorable para la vegetación. También se cubrió la Tierra de plantas que hallaban en el aire, rico en carbono, una nutrición abundante y fecunda; y que daba por resultado un desarrollo mucho más considerable, favorecido además por un alto grado de temperatura. De aquella época

datan las hullas, inmensos depósitos de vegetales carbonizados.

La absorción y destrucción continuas del ácido carbónico por los vegetales hacían que el aire se aproximase cada vez más, en cuanto á su composición, á lo que es ahora. Sin embargo, la cubierta gaseosa no era todavía á propósito para mantener la vida de los animales que respiran el aire directamente, por cuya causa fué en el agua donde aparecieron los primeros seres pertenecientes al reino animal: los radiados y los moluscos. La primera población de los mares se compuso exclusivamente de invertebrados; á estos siguieron los peces, y luego vinieron los reptiles marinos. Después de la época de los peces, y de la de los saúrios feroces y monstruosos, aparecieron los mamíferos; la Atmósfera se compuso poco á poco de los elementos físicos y químicos que la caracterizan hoy, y los organismos más perfectos dominaron en el globo cuya conquista pertenece hoy á la especie humana..... El viento que mugía en aquellas selvas antediluvianas, el estridente rayo, las iluminaciones de los crepúsculos, los perfumes de las plantas silvestres y las solitarias perspectivas de los grandes paisajes, no tenían un ojo humano que los contemplara, un oído que los escuchase, un pensamiento que los conociera..... pero de siglo en siglo se iban preparando las condiciones de la existencia humana sobre nuestro planeta, habitado ya por aquellas especies.

CAPÍTULO IV

PESO DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

EL BARÓMETRO Y LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Hemos visto, al ocuparnos de la altura de la Atmósfera, que el aire es más denso en las regiones inferiores del océano aéreo, es decir, en la superficie del suelo por donde nos arrastramos, que en las regiones superiores. Así pues, el aire, por ligero y fluido que nos parezca, tiene un peso real. Cada metro cuadrado de la superficie del globo soporta una presión considerable, que pasaremos á evaluar, y que corresponde á la altura y densidad de la columna de aire de igual sección colocada sobre él.

Los antiguos no conocían la *medida* de la presión atmosférica, de lo cual no debe deducirse que ignoraran sus efectos, sobre todo cuando los vientos soplaban con violencia, pero esta fuerza que cada cual sentía sin pensar en apreciarla, no se determinó hasta mediados del siglo xvii.

El gran duque de Toscana tuvo, en 1640, el capricho, que á la sazón podía calificarse de régio, de establecer surtidores de agua en el terrado de su palacio, para lo cual quiso hacer subir el líquido desde un estanque inmediato, con el auxilio de una bomba; pero los fontaneros de Florencia advirtieron que era imposible llevar el agua á más de 32 piés de altura. El duque escribió á Galileo, noticiándole la singular resistencia del agua á obedecer á las bom-

bas, y Torricelli, amigo y discípulo de Galileo, dió la explicación de tal hecho, demostrando, como vamos á ver, que la columna de agua de 32 piés equilibraba la presión de la Atmósfera tomada en toda su altura.

Por una mala inteligencia, se ha atribuido alguna vez á Pascal la interesante invención de Torricelli, pero el filósofo francés explica esta equivocación, exponiendo la parte que en aquella le corresponde. «Habiendo circulado por París la noticia de mis experimentos, dice, los confundieron con el de Italia, y con este motivo, dispensándome los unos un honor que no me correspondía, me atribuían el experimento italiano, y los otros, por una injusticia contraria, me negaban los que yo había hecho. Para que cada cual quedara en su lugar, hice imprimir en 1647 los experimentos que hice el año anterior en Normandía, y á fin de que no se pudieran confundir con el de Italia, los anuncié aparte, y además en letra cursiva, y no contentándome aun con distinción semejante, declaré terminantemente en un Prólogo al lector, que *no soy el inventor de aquel, pues se ha hecho en Italia cuatro años antes que los míos, y que dicho experimento ha motivado el que yo los emprendiera á mi vez.*»

Tenemos, pues, que la resistencia del agua á elevarse á mas de 10 metros de altura en los cuerpos de bomba fué lo que reveló á Torricelli el peso de la Atmósfera. Examinemos por un momento, y antes de pasar adelante, el mecanismo y el juego de las bombas.

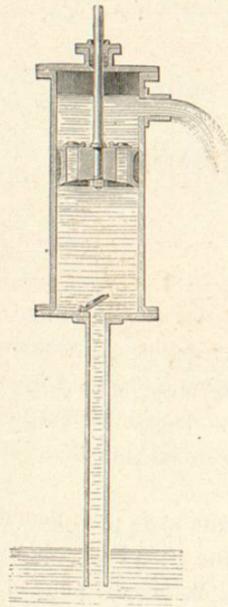


Fig. 10.—BOMBA ASPIRANTE

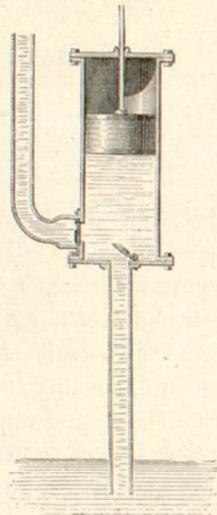


Fig. 11.—BOMBA ASPIRANTE É IMPELENTE

bombas aspirantes al *horror que la naturaleza tiene al vacío*; pero este fenómeno es simplemente un efecto de la presión atmosférica.

Supongamos un tubo en cuya parte inferior se halla un émbolo, y sumerjamos dicha parte en el agua. Si se eleva el émbolo, se hace el vacío debajo de él, la presión atmosférica *se ejerce sobre la superficie exterior del líquido*, y le obliga á elevarse por el tubo y á seguir al émbolo en su movimiento. Tal es el principio de la *bomba aspirante*, que se compone esencialmente de un cuerpo de bomba, en el cual se mueve un émbolo que comunica por medio de un tubo de aspiración con un receptáculo de agua (figura 10). En el punto de unión del cuerpo de bomba y del tubo de aspiración

hay una válvula que se abre de abajo arriba, teniendo el émbolo en su centro un orificio formado por una válvula análoga.

Para que el agua pueda llegar hasta el cuerpo de bomba, es preciso que la válvula de aspiración esté á menos de 10 metros sobre el nivel del agua del depósito, pues de lo contrario, se detendría al llegar á cierto punto del tubo, sin que el movimiento del émbolo pudiera elevarla mas.

Además, para que á cada ascension del émbolo salga un volumen de agua igual al del cuerpo de bomba, es preciso que el canal lateral por donde corre el líquido esté á menos de 10 metros sobre el depósito. Véase, pues, que la bomba aspirante no permite elevar el agua á mas de 10 metros de altura; pero una vez el líquido encima del

émbolo, sube por la fuerza ascensional de este, y la elevación no depende ya sino de la fuerza que mueve al mismo.

La bomba *aspirante é impelente* (fig. 11), después de haber elevado el agua por aspiración, la arroja mas lejos por presión. En

la base del cuerpo de bomba, y sobre el orificio del tubo de aspiración hay también una válvula que se abre de abajo arriba. Otra válvula análoga cierra la abertura del tubo acodado que termina en un recipiente llamado *depósito del aire*. En fin, de este

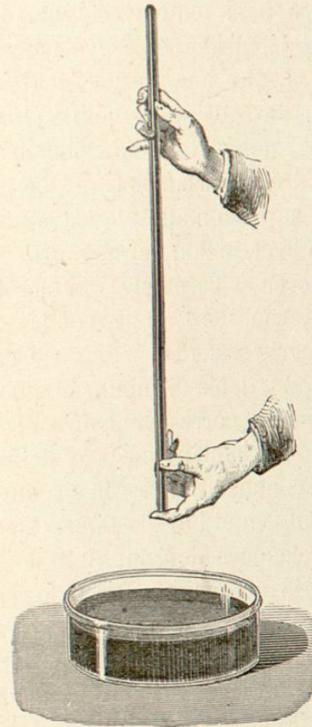


Fig. 12.—TUBO LLENO DE MERCURIO

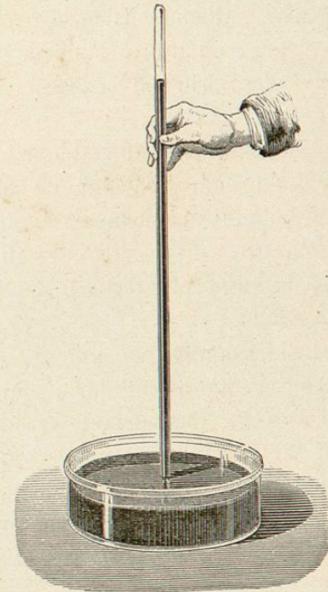


Fig. 13.—TUBO EN LA CUBETA

recipiente parte un tubo de ascension destinado á elevar el agua á una altura más ó menos considerable.

Por último, la bomba *impelente* actúa solo por un movimiento mecánico y no utiliza la presión atmosférica. No difiere de la precedente sino porque carece de tubo de aspiración y porque su cuerpo de bomba está sumergido en la misma agua que se quiere elevar.

El compatriota de Galileo, desechando como su maestro toda idea de causa oculta para darse cuenta de la elevación del agua hasta cierta altura, expuso que *el peso del aire del recipiente obliga al agua á subir por el tubo cuyo aire se desaloja*, y que esto suce-

de hasta que el peso del agua elevada en el tubo equivale al del aire que pesa sobre una sección igual del recipiente. Por una simple consecuencia de este raciocinio, vino á inventar el Barómetro.

Para ejercer presiones iguales, las columnas líquidas deben tener alturas que estén en razón inversa de su densidad; luego un líquido que pesara dos veces mas que el agua, quedaria equilibrado con la Atmósfera merced á una columna de 16 piés, y el mercurio, que pesa casi 13 veces y media mas que aquella, deberia equilibrarse merced á otra igual á 32 piés divididos por 13'5, lo cual da 760 milímetros. Fácilmente se comprueba esta consecuencia. Se

coge un tubo de vidrio de un metro de longitud, cerrado por un extremo; se le llena de mercurio, y en seguida, despues de haberle tapado con el dedo (fig. 12), se le invierte verticalmente para sumergir el otro extremo en una cubeta llena del mismo liquido; quitando entonces el dedo, la columna mercurial desciende muchos centímetros, deteniéndose despues (figura 13); establécese el equilibrio, y la columna líquida que queda suspendida en el tubo resulta ser una verdadera balanza, porque su peso, es decir, su altura establece precisamente el equilibrio con la presión atmosférica.

El sábio discípulo de Galileo dió al tubo de mercurio colocado verticalmente sobre una cubeta de la misma sustancia el nombre de Barómetro, esto es, aparato indicador del peso del aire (del griego *baros*, peso, y *metron*, medida).

Así, pues, el barómetro se compone esencialmente de un tubo de mercurio sumergido en una cubeta. Mas adelante veremos cuáles son sus numerosas aplicaciones; aqui lo importante era definir su principio. Este barómetro reducido á sus mas simples condiciones se llama *Barómetro normal* (figura 14).

La invencion de dicho instrumento por Torricelli data del año 1642.

Cuatro años despues, ó sea en 1646, Pascal renovó el experimento en Francia con un verdadero *barómetro de agua*, y aun con uno *de vino*. Este experimento lo efectuó en Rouen con un tubo de 46 piés de largo, y para remediar la dificultad, insuperable en aquella época, de extraer directamente el aire que contenia, le hizo tapar por un extremo, le llenó de vino, y cerró el otro extremo con un tapon. Entonces, levantóse el tubo verticalmente por medio de cuerdas y de poleas, y se sumergió el extremo inferior en una vasija con agua. En el momento en que se quitó el tapon que la tenia encerrada, toda la columna líquida descendió en el tubo hasta que su extremidad es-

tuvo á unos 32 piés sobre el nivel del agua de la vasija. Los 14 piés restantes quedaron privados de aire. Así pues, la columna líquida establecia por sí sola el equilibrio con la presión atmosférica, de lo cual dedujo Torricelli que una columna de agua (ó de vino de la misma densidad) de 32 piés de altura pesa tanto como una de aire que tenga la misma base. La superficie de la Tierra sufre una presión igual á la de una capa de agua de 32 piés de altura, y nosotros, que vivimos en el fondo del océano del aire, soportamos la misma presión.

Si la presión atmosférica era la que causaba la elevación del mercurio ó del agua, al elevar el barómetro á diferentes alturas en la Atmósfera, el peso de la columna de mercurio sostenida y por consiguiente su longitud, debia disminuir gradualmente en cantidades correspondientes á las capas de aire que habian quedado debajo. Florin Perier, cuñado de Pascal, ejecutó este experimento en el Puy-de-Dôme, siguiendo las instrucciones de éste, el 19 de Setiembre de 1648, y el mismo Pascal lo repitió en la torre de Santiago de Paris. Los resultados fueron decisivos, y se tuvo en el barómetro un medio fácil y seguro de medir el peso total de la Atmósfera y las variaciones de la presión que ejerce en diferentes circunstancias y en distintos sitios sobre la superficie del globo.

Por consiguiente, desde 1640 á 1648 quedó demostrada la presión atmosférica en virtud de la construcción del barómetro y de los experimentos á que se dedicaron inmediatamente los investigadores.

Por una coincidencia muy frecuente en la historia de las ciencias, mientras se estudiaban en Italia y en Francia las indicaciones del barómetro, en Holanda se ocupaban otros observadores en averiguar precisamente el peso del aire, mas por un método distinto.

En 1650, Otto de Guericke, burgomaestre de Magdeburgo, inventa la máquina neumática, con ayuda de la cual se puede ex-



TORRICELLI INVENTANDO EL BARÓMETRO.

traer el aire contenido en un recipiente, y hacer el *vacío* casi absoluto.

En el mismo año, el ingenioso inventor discurre pesar un globo de vidrio, primero dejándole el aire que contenía, y luego quitándose con la máquina neumática. Vióse

sofos de la antigüedad admitían la materialidad del aire como un hecho indudable. La escuela de Epicuro, por ejemplo, comparaba los efectos del viento á los del agua en movimiento, y consideraba los elementos del aire como cuerpos invisibles; Lucrecio se ocupa detenidamente de ello. Sin embargo, durante el predominio de la filosofía peripatética, admitióse que el aire carecía de peso, y solo un corto número de filósofos dejó de incurrir en este error.

Acabamos de ver que Otto de Guericke demostró el peso real del aire, ensayando de un modo mas razonable el experimento de Aristóteles. Si este obtuvo un resultado contrario, dependió del cambio de volumen del odre en sus dos pruebas; porque todo cuerpo pesado en un fluido pierde una parte de su peso igual al del fluido que desaloja. El odre de que se sirvió Aristóteles habria tenido mas peso si lo hubiese pesado en el vacío. Supongamos que se hubieran introducido en él por insuflacion unos 30 decímetros cúbicos de aire; su peso aumentaria poco mas ó menos en 4 gramos, pero al mismo tiempo el odre quedaria henchido; su volumen, aumentado en 30 decímetros cúbicos, desalojaría otro volumen de aire de igual peso, de suerte que la pérdida de este que experimentaria seria igualmente de 4 gramos, quedando el mismo en definitiva; pero en el experimento de Otto de Guericke, la vasija tenia siempre la misma capacidad, ya estuviese vacía ó llena de aire, y siendo su pérdida en peso por el aire desalojado igual en ambos casos, debia hallarse una diferencia que demostrara la gravedad del aire.

que el globo sin aire era menos pesado que con él, con la diferencia de 1.29 gramo por cada litro de que se componia la capacidad del globo.

Aristóteles habia sospechado ya que el aire era pesado, y para averiguarlo, pesó un odre, primero vacío, y luego *henchido* de aire; porque, decia, si el aire es pesado, el odre debe pesar mas en el segundo caso que en el primero; pero como la prueba no confirmó sus previsiones, dedujo que aquel no pesaba. Sin embargo, muchos filóso-

Otto de Guericke ideó al propio tiempo los hemisferios de Magdeburgo, así llamados del nombre de la ciudad donde los inventó, los cuales consisten en dos hemisferios de cobre huecos, de diez á doce centímetros de diámetro, que encajan herméticamente el uno en el otro. Uno de ellos tiene una llave que puede atornillarse en el platillo de la máquina neumática, y el

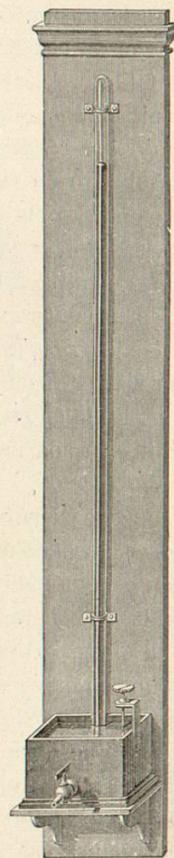


Fig. 14.— BARÓMETRO NORMAL