

La presión atmosférica y los protagonistas del cambio de percepción

Atmospheric pressure and the protagonist of the perception change

A pressão atmosférica e os protagonistas da mudança de percepção

Ronnie Torres Hugues ¹, Yudeimys Ymas Dávila ²

Recibido: Junio 2022

Aceptado: Julio 2022

Resumen. - El presente trabajo expone un capítulo dentro de la historia de la ciencia en el que se mencionan las personalidades científicas involucradas, y se describen las relaciones y escenarios en los cuales tuvo lugar la evolución de varios aspectos vinculados con la presión atmosférica. Se muestran las principales concepciones acerca del vacío desde la Antigua Grecia. Además, se refleja la situación práctica que dio lugar al cuestionamiento de los preceptos establecidos, así como, los experimentos realizados que dieron lugar a las concepciones actuales acerca del peso del aire, la presión atmosférica y el vacío. Se aprecia también los métodos científicos que más influencia tuvieron en cada etapa. Por último, se concluye cómo el trabajo colectivo y continuado ha sido clave para el avance científico.

Palabras clave: barómetro; peso del aire; presión atmosférica; vacío.

Summary. - *The present work exposes a chapter within the history of science in which the scientific personalities involved are mentioned, and the relationships and scenarios in which the evolution of various aspects related to atmospheric pressure took place are described. The main conceptions about the void from Ancient Greece are shown. In addition, the practical situation that gave rise to the questioning of the established precepts is reflected, as well as the experiments carried out that gave rise to the current conceptions about the weight of air, atmospheric pressure and vacuum. The scientific methods that had the most influence at each stage are also appreciated. Finally, it is concluded how collective and continuous work has been key to scientific progress.*

Keywords: barometer; air weight; atmospheric pressure; vacuum.

Resumo. - *O presente trabalho expõe um capítulo da história da ciência no qual são mencionadas as personalidades científicas envolvidas, e são descritas as relações e cenários em que ocorreu a evolução de vários aspectos relacionados à pressão atmosférica. São apresentadas as principais concepções sobre o vácuo na Grécia Antiga. Além disso, é refletida a situação prática que deu origem ao questionamento dos preceitos estabelecidos, bem como os experimentos realizados que deram origem às concepções atuais sobre o peso do ar, pressão atmosférica e vácuo. Os métodos científicos que tiveram mais influência em cada etapa também são apreciados. Por fim, conclui-se como o trabalho coletivo e contínuo tem sido fundamental para o progresso*

¹ Doctor en Ciencias Técnicas. Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción (Cuba), torresymas79@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7206-6346>

² Magister en Ciencias. Departamento BIOSAVE, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez (Cuba), ymastorres79@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0899-3241>

científico.

Palavras-chave: *barômetro; peso do ar; pressão atmosférica; vazio.*

1. Introducción. - Motivado por lo educativo y trascendental del estudio de la historia en la rama de la Hidráulica, específicamente en la Hidrostática, donde unos de los primeros conceptos que se aborda es el de la presión atmosférica mencionando, en el mejor de los casos, a alguna figura clave, el objetivo del presente trabajo es relacionar de forma cronológica el papel que jugaron varios hombres de ciencia en la evolución de la concepción de las propiedades del aire y el vacío a través de la experimentación científica.

Cuando se aborda el tema inmediatamente se menciona el barómetro de Torricelli, y a este como el primero en crear uno en el siglo XVII. Además, en algunos textos se menciona a Galileo Galilei como su maestro y con el que entró en contradicción respecto a determinadas propiedades del aire y a Blaise Pascal como continuador de la obra. Por tanto, se ha dejado a un lado sucesos y personalidades también protagonistas, no estableciendo en toda su magnitud el significado histórico y científico que ha tenido el descubrimiento de la presión atmosférica en la concepción del mundo circundante y en ocasiones se ha distorsionado el relato, como es expuesto por Hidalgo 2018 [1].

Cuestiones relacionadas con el ¿por qué? ¿cómo? y ¿a qué hubo que enfrentarse? quedan limitadas a materiales sobre historia de la ciencia. Los libros dirigidos a la enseñanza que dejen de tratar el espíritu científico, la colaboración y el coraje de los involucrados permiten que se escape una gran oportunidad de exaltar importantes cualidades humanas necesarias para los futuros profesionales. En este sentido, Hidalgo 2021, trabaja la formación de valores en la Enseñanza Media en Brasil a partir de relacionar estos aspectos en el tema abordado en este trabajo [2].

El descubrimiento del peso del aire, la presión atmosférica y el vacío es uno de aquellos en los que se rompe con concepciones bien arraigadas en el mundo científico y religioso, dominante en Europa del siglo XVII, por lo que su presentación pública inicialmente fue cuestionada, criticada y mal juzgada. Solo a base de ímpetu es que la verdad relució por encima de las falsas ideas.

El trabajo presenta tres momentos fundamentales: desde la Antigüedad hasta 1630, en donde se exponen las concepciones iniciales a partir de la observación como método científico; desde 1630 hasta 1644, donde surge el conflicto entre lo establecido y el resultado práctico de un caso concreto y; por último, desde 1644 hasta 1654, en el que basado en la experimentación se obtienen los fundamentos que son empleados en la actualidad.

2. Galileo Galilei, el horror al vacío y las bombas hidráulicas. - En la antigüedad no se concebía que el aire tuviera peso. Se consideraba como un elemento que, por su naturaleza, tendía a elevarse. En tal sentido, en Grecia sobre el siglo IV a.C. se manejaban dos teorías: la atomista, de Demócrito, que consideraba que la materia estaba compuesta por pequeñas partículas indivisibles: los átomos, que se movían en un espacio vacío y que con su distinto ordenamiento daban lugar a los distintos estados físicos y la plenista, de Aristóteles, que excluía la noción de vacío exponiendo que la naturaleza no tolera la ausencia de aire, o sea, no se concebía un espacio sin materia, más conocida como horror vacui (horror al vacío) [3, 4].

Este último afirmaba que el aire tenía cuerpo, pero no peso, y para demostrar su punto, pesó una vejiga vacía y luego llena de aire exhibiendo que no había diferencia [5], ya que para él cuando un cuerpo se mueve le cede su lugar a otro [6]. Esta perspectiva daba respuestas a fenómenos comunes como el accionamiento de un fuelle para avivar el fuego en las forjas y la absorción de líquidos por un absorbente, entre otros, ya que la tendencia de la naturaleza sería la de llenar los espacios vacíos. Por su parte, desde el punto de vista de la religión católica, el vacío no podía existir, puesto que

Dios no puede actuar en la nada y es, por naturaleza, omnipresente [7]. Por todo esto, la teoría plenista resultó ser la dominante durante más de 1800 años. El término también se ha aplicado en el arte. Aunque durante todo este tiempo se mantuvo la reflexión y la discusión por algunos pensadores como Lucrecio, Herón de Alejandría, Avicena, Jean Buridan, Giordano Bruno, Francis Bacon y René Descartes, entre otros, unos a favor y otros en contra de las ideas aristotélicas [6].

Este concepto fue utilizado por Galileo Galilei, a comienzos del siglo XVII, para explicar que el ascenso de los líquidos en las bombas se debía al horror al vacío que experimenta la naturaleza. Además, al ver lo que pasaba en algunos casos, añadió que este se limitaba con una fuerza equivalente al peso de 10 m de agua, y denominó a dicha altura *altezza limitatissima*. En tal sentido pensó que la columna de agua que subía por el tubo de la bomba debía acabar rompiéndose por su propio peso y esta distancia era la máxima longitud que podía alcanzar el cilindro de agua [8].

Respecto a las bombas de agua, por el año 300 a.C. y a la par del desarrollo de las máquinas gravimétricas comenzó la utilización de las bombas de desplazamiento positivo, que consisten en un pistón ajustado a un cilindro metálico con un par de lengüetas de cuero que permitían o cerraban el paso del agua según el recorrido del mismo. Al subir el pistón, el agua acompañaba el recorrido de éste llenando el espacio vacío, ver figura I. Fue inventada por Ctesibus de Alejandría, Egipto en el siglo III a.C., tomando como principio el “horror al vacío” del agua [7]. Para que funcionen deben manipularse manualmente.

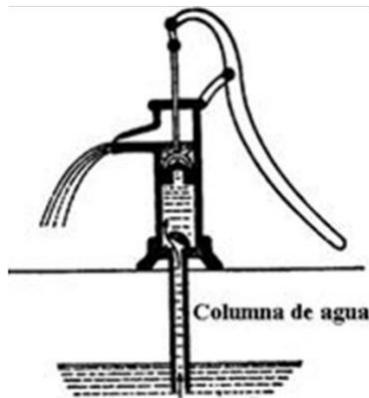


Figura I.- Interior de una bomba de desplazamiento positivo.

Este concepto ha sobrevivido durante varios siglos y era el mecanismo de las bombas usadas en Italia en la primera mitad del siglo XVII [7]. Por otra parte, la evolución de los equipos de bombeo no se detuvo.

3. Planteamiento del problema técnico y su repercusión

3.1. La problemática de Baliani. - El problema que dio origen al derrocamiento de la teoría del horror al vacío con el descubrimiento de la presión atmosférica fue una cuestión eminentemente práctica relacionada con las infraestructuras urbanas. En 1630 el ingeniero italiano Gianbattista Baliani se encontraba a cargo de la ampliación de un acueducto de Génova y, con el objetivo de elevar el agua sobre una colina de aproximadamente 20 m de altura, se construyó un sifón. Pero este no funcionaba y no se debía a problemas estructurales o accidentales. Para encontrar una

explicación a este fenómeno el jefe de obras dedicó mucho tiempo reflexionando [8]. Por eso, al no encontrar nada satisfactorio, se comunicó con Galileo, mediante correspondencia, sobre las condiciones de esta instalación y la explicación del fenómeno.

En una misiva escrita en julio de 1630 le planteaba que "... si luego de obturarlo por arriba, se abre, el agua sale por ambas partes; y si se mantiene cerrado por un lado y se abre el otro, de este último sale agua de todos modos. No puedo admitir que en esta ocasión el agua haya querido apartarse de sus propiedades naturales [...*fluir de un lado al otro en el primer caso y permanecer inmóvil en el segundo*]; por tanto, es forzoso que, al salir agua, se meta aire en la parte superior [...*interrumpiendo el fluido*]; pero no veo por dónde. Ocurre además otra cosa que me deja pasmado; a saber, que si se abre la boca A, el agua sale hasta que haya bajado desde D hasta aproximadamente la mitad, o sea hasta F, y luego se para... Quiero relatarle todo, para que Ud, con más facilidad pueda descubrir en que consiste mi error y haga el favor de avisarme" [9]. En la figura II se muestra el esquema enviado. Debe aclararse que el punto de salida es B.

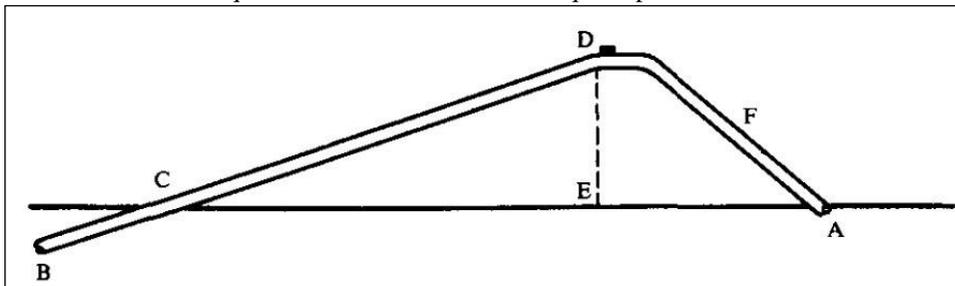


Figura II.- Esquema del sifón objeto de problema [9].

Para dar una respuesta, el sabio pisano se basó en la Fuerza del vacío, concepto al que había arribado a partir de estudios que hace tiempo realizó con fontaneros florentinos, y en los que comprobó que la extracción de agua está limitada a una columna con una altura máxima de aproximadamente de 10,5 metros [9, 1]. Por tanto, le contestó explicándole que "...Entonces, si se rompen cuerdas de cañamo y (hasta) de acero cuando tienen que aguantar un peso excesivo, ¿qué duda debe quedarnos de que también una cuerda (hecha) de agua tenga que reventarse? Más bien, esta se romperá con tanta más facilidad en cuanto las partes de agua, para separarse la una de la otra, no tienen que vencer otra fuerza sino la del vacío que resulta luego de la partición." [9, 3].

Desde esta concepción lo que se interpreta es que el vacío se resiste a formarse en la naturaleza y, para el caso del agua, esta solo puede subir dicha cantidad, porque más allá se rompe y esto no puede suceder.

El ingeniero no estaba conforme con esta explicación, ya que el agua se había separado dando paso a un vacío. Este creía que el aire empuja, mediante su peso, la masa de agua provocando que se eleve por el tubo del sifón hasta la altura de equilibrio, como un contrapeso y así se lo hizo saber al maestro [8], pero Galileo no compartía la idea que el aire pesara en el aire, ya que está en su lugar natural. En octubre de 1630 vuelve a contestar mediante una analogía estableciendo que el ser humano vive en el fondo de un océano de aire: "y así como situados en el fondo del mar los seres humanos –eliminando la necesidad de respirar- no advertiríamos el peso del agua, sobre la superficie terrestre tampoco nos es dado percibir este efecto, porque nuestro cuerpo está hecho de tal manera que soporta bien esa uniforme compresión." [9].

Así parece terminar este asunto práctico y teórico, al menos en la documentación consultada no se

hacen otras aclaraciones. El ingeniero no pudo resolver su problema (imposible con la tecnología de la época) y el físico mantuvo sus concepciones. Estas fueron plasmadas en su obra “*Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*”, de 1638 y explicadas a sus discípulos Vincenzo Viviani, Evangelista Torricelli y Peri, entre otros en el retiro de Arcetri cuando se refería al hecho de que las bombas aspirantes-impelentes, órgano hidráulico inventado por Ctesibio, no podían hacer subir el agua de los pozos a una altura superior a los 10 m. La documentación y discusiones sostenidas con Baliani fueron compartidas con Torricelli, que supo aprovechar en sus propios estudios [8].

Antes de que Baliani hablara sobre el peso del aire lo hizo el científico holandés Isaac Beeckman, que investigaba sobre la existencia del vacío en el funcionamiento de la bomba neumática. Las notas que publicó entre 1614 y 1616 señalan que le atribuía peso al aire, y que este es el causante del ascenso del agua en los sifones, en los que se hace el vacío mediante una máquina aspiradora [3, 2].

Por su parte, también en 1631 en carta escrita Rene Descartes afirmaba que el aire es pesado, se le puede comparar a un vasto manto de lana que envuelve la Tierra hasta más allá de las nubes. Ambos científicos mantuvieron una intensa y estrecha amistad [8].

3.2. El experimento con agua de Gasparo Berti. - En 1640 el italiano Gasparo Berti junto con su colega Raffaello Magiotti, que también fue discípulo de Galileo, estudiaron lo que ocurría con los sifones, tema ampliamente tratado en el material ya mencionado de Galileo, y decidieron comprobar los aspectos abordados. Por tanto, al año siguiente montaron un experimento público en la ciudad de Roma. Para ello contaron con un tubo hermético de plomo de 12 metros de longitud que instalaron en la fachada de un edificio propiedad de su familia. En la parte superior se colocó una bola de vidrio. La parte baja descansaba dentro de un recipiente con agua, ver figura III [8].

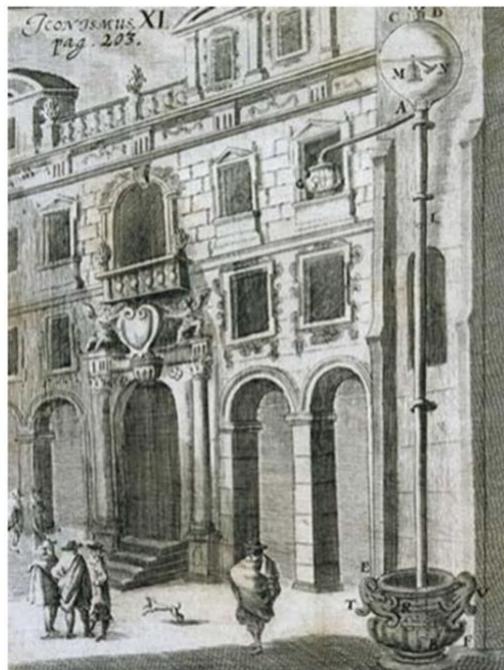


Figura III.- Ilustración del experimento de Berti en Roma [5].

El agua se introdujo inicialmente de forma simultánea por los extremos superior e inferior, luego se garantizó que solo entrara por la base, para que ascendiera y lo hizo confirmando las afirmaciones de Galileo. Este espectáculo fue interpretado de diversas maneras, partiendo de las propias creencias de los observadores. Unos apostaban con convencimiento que el tramo que se quedaba sin agua contenía aire y otros sostenían que en la tubería había solo agua y el resto era vacío [8].

En el interior de la bola de vidrio se había colocado una campanilla que se accionaba desde el exterior con la finalidad de escuchar su sonido, que fue escuchado tenuemente por los asistentes. Unos, los seguidores de Aristóteles, reafirmaron que había aire, pues se había propagado el sonido y otros sugirieron la posibilidad de que el cristal hubiese transmitido al exterior las vibraciones causadas por cualquier roce de la campana con la bola. Respecto a la altura de la columna de agua, también hubo diferencia de criterios. Unos afirmaban que se debía a la fuerza del vacío y otros al peso del aire [8].

4. Cambio de concepto

4.1. El tubo de Torricelli. - En 1643 Berti muere, pero Magiotti trataba de organizar nuevos experimentos con líquidos más pesados para disminuir la altura del tubo, contacta con Torricelli y le propone repetir el experimento. Este no pudo asistir al experimento inicial por encontrarse esos días en Arcetri acompañando al anciano y enfermo Galileo y estudiando con él.

Torricelli había tenido acceso a la correspondencia entre Baliani y su difunto maestro, lo que complementaba sus reflexiones sobre el tema [9], por lo que lo comentó por su discípulo era un excelente complemento para sus ideas.

En 1644 se le encargó a Vicenzio Viviani, que también cuidaba al sabio desde 1639, la realización de los dispositivos experimentales, que consistían en tubos de vidrio de aproximadamente un 1,17 m de longitud con un extremo cerrado y el otro abierto, que serían llenados con mercurio, 13,6 veces más denso que el agua (ver figura IV). Entre estos cabe destacar que uno tenía un gran bulbo en el extremo cerrado, con el cual se pretendía identificar si la fuerza que incide sobre la columna de líquido es interna o externa, ya que de ser interna habría mayor resistencia en que esta bajara por haber mayor volumen con relación al otro diseño [3].

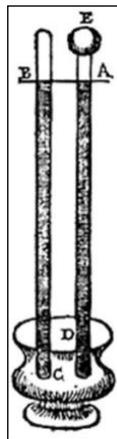


Figura IV. Esquema empleado por Torricelli para explicar su experimento [3].

En la primavera de ese año se llevan a cabo los experimentos cuyos resultados se los comunicó a su amigo Michelangelo Ricci en una carta con un esquema como el de la figura IV planteándole lo siguiente: “Hemos construido muchos tubos de vidrio como los designados con A, B, gruesos y con cuello de dos codos de largo. Llenados estos de mercurio, cerrada con un dedo su boca y volteados en una cubeta C que contenía mercurio, se veían vaciar sin que en los tubos pasara nada; porque el cuello AD quedaba siempre lleno hasta la altura de un codo y cuarto, y un dedo más. Para comprobar que el tubo en su parte superior fuese perfectamente vacío, se llenaba la cubierta inferior con agua hasta D; y levantando poco a poco el tubo, en cuanto su boca alcanzaba el agua se veía el mercurio bajar del cuello y esta llenarse con horrible ímpetu totalmente de agua hasta E.” [9, 4].

A partir de esta observación reflexionaba sobre si era el horror al vacío la verdadera causa de la detención de la columna, ya que, de ser así, donde más vacío hubiera mayor debería ser la columna de líquido, y comentaba en la misiva: “Hasta ahora se ha creído que, estando el espacio EA vacío, y sosteniéndose el mercurio, aun siendo pesadísimo, en el tramo AC, la fuerza que sostiene al mercurio en contra de su tendencia natural a caer haya sido interior al espacio AE, o sea de vacío... Pero yo pretendo que ella sea externa, que la fuerza venga de afuera. Sobre la superficie del líquido que está en la cubeta gravita la altura de cincuenta millas de aire. ¿Qué hay pues de raro si en el vidrio CE, en el cual por no haber nada el mercurio no tiene ni propensión ni repugnancia, éste entre y se levante hasta equilibrar el peso del aire exterior que lo empuja? Por su parte el agua en un tubo semejante, pero mucho más largo, subiría casi hasta dieciocho codos, o sea tanto más de lo que sube el mercurio cuanto éste es más pesado que el agua, para equilibrarse con la misma causa que los empuja a ambos”. [9].

A partir de esta correspondencia se realizó un intercambio de ideas cuestionando y aclarando varios aspectos del experimento y de la interpretación de los resultados [9]. Por tanto, así se demostró que la altura de la columna de mercurio no dependía de la altura total del tubo empleado, ni de su forma y sí de un agente externo como el aire, cuya fuerza es equilibrada con el peso de la columna de estos. Mientras más pesados o densos menor será esta altura. Más sorprendente aun resultó el hecho de la formación del vacío en el extremo superior de los tubos como fenómeno natural, contradiciendo así al conocimiento de ese momento y a la religión.

En este sentido, Pelkowski hace alusión a la situación social que envolvía a toda esta cuestión, ya que los jesuitas eran recelosos con todo que pudiera poner en peligro sus concepciones establecidas. Por lo que no podían concebir el vacío en un mundo creado por una Divinidad y conformado por esferas concéntricas. Decir lo contrario se tomaría como un acto de herejía. Por tanto, Torricelli siempre se mostró muy prudente y no tomó posición filosófica alguna [10].

Con esto se comenzaba a gestar un importante cambio de concepto, tanto científico como filosófico. En honor a lo ideado y protagonizado por Evangelista Torricelli, se nombró una unidad de presión el torr, que equivale a 1 mmHg. Por otra parte, con el tiempo se vio la utilidad de esta instalación, ahora convertida en barómetro, como instrumento para medir la variación de la presión atmosférica, y a este científico como uno de los pioneros de la Meteorología. Muchos modelos le siguieron al “tubo de Torricelli” [5], nombre que se le atribuyó durante decenas de años, pues el término barómetro aparece por primera vez en un listado del instrumental de una expedición astronómica a Madagascar, organizada por la Academia de Ciencias de París [8]. Fue a partir de 1831 cuando varios países de Europa, comenzando por Bélgica, crearon centros oficiales sobre la meteorología [11]

4.2. Blaise Pascal sube el barómetro. - Los resultados anteriores rápidamente llegaron a manos del matemático y fraile francés Marin Mersenne, importante estudioso y divulgador de la ciencia,

quien se encargó de darlos a conocer. Por eso, en 1646 se repite este experimento en París y en Ruan. En esta última participa como espectador Blaise Pascal, quien, al año siguiente, decide encaminar sus propios experimentos no sólo con mercurio, sino también con agua y vino, mostrando en público cómo la altura alcanzada por la columna líquida era inversamente proporcional a la densidad de la sustancia empleada [10].

También probó encerrando un tubo dentro de otro para comprobar que la altura de la columna de líquido sería cero en un ambiente en el que el espacio circundante estuviera vacío. Aun así, no estaba satisfecho [4] y en 1647 establece comunicación con René Descartes sobre la posible causa de los vacíos, quien le sugiere un experimento: observar la variación de la columna en la cima y al pie de una montaña [10].

Esta sugerencia derivó en una carta que le envió Pascal a su cuñado Florin Périer ese mismo año, en la misma se aprecian las reflexiones sobre el tema. Esta decía: “He ideado un experimento que bien podría darnos la luz que buscamos si pudiéramos llevarlo a cabo con precisión. Se trata de realizar el habitual experimento del vacío varias veces en el mismo día, en el mismo tubo y con el mismo mercurio, pero unas veces al pie de una montaña de al menos 500 ó 600 toesas (unos 1000 a 1200 metros) y otras en su cima, con el objeto de comprobar si la altura del mercurio suspendido en el tubo es parecida en una y otra situación o, por el contrario, difiere. Sin duda habréis advertido ya que este experimento es decisivo para la cuestión y que, si resultara que la altura del mercurio es menor en la cumbre que al pie de la montaña (conforme tengo muchas razones para creer, por más que cuantos han reflexionado sobre el problema piensen lo contrario), entonces se seguirá necesariamente que el peso y la presión del aire constituyen la única causa de la suspensión del mercurio, y no así el horror al vacío, pues es evidente que al pie de la montaña hay mucho más aire que pese que en lo alto de la misma y, sin embargo, no cabría decir que la naturaleza aborrece más al vacío abajo que en la cima.” [10].

Un año después el familiar del científico contesta con una misiva confirmando las sospechas de este, una vez realizadas las pruebas con 4 kg de mercurio en la montaña Puy-de Dôme, de unos 1000 metros de altura. En esta ocasión se comparó la medida realizada en la cima con las de la base, tomada por el padre Chastin, y hallaron una diferencia de tres líneas y media entre ambas [10]. Posteriormente, el propio científico lo repitió en la torre Saint Jacques. Se trataba de observar las variaciones de la columna de mercurio a diferentes alturas, haciendo anotaciones sobre las modificaciones de temperatura, hora, etc., y comparando 108 distintos barómetros [12].

Sus comentarios fueron concluyentes para aclarar tan polémica cuestión, ya que estableció que la presión atmosférica es la que sostiene la columna de mercurio y que esta varía con las diferentes alturas. Se demostró así que el llamado horror al vacío era solo producto del desconocimiento de los efectos de la presión atmosférica [12]. En honor a su aporte se estableció otra unidad para medir la presión el Pascal (Pa), $1\text{Pa} = 0,0075\text{ Torr}$.

Este gran científico dio una serie de reglas que lo convierten en uno de los fundadores de la ciencia experimental. Es de aclarar que también en 1647 las ideas de Pascal pasaron por una gran polémica con los jesuitas, los cuales emprendieron una guerra abierta contra este y su padre. Otro dato interesante es que los dos tratados de Pascal “*El equilibrio de los líquidos*” y “*La pesadez de la masa de aire*” serían publicados por Florin Périer en 1663, tras la muerte del autor [3].

4.3. Otto von Guericke pone a prueba la teoría. - No obstante, el concepto de presión atmosférica no empezó a extenderse hasta la demostración, en 1654, del burgomaestre e inventor Otto von Guericke quien, con sus hemisferios de Magdeburgo, cautivó al público y a personajes ilustres de la época [10].

Este alemán ideó una espectacular demostración de la inmensa fuerza que la atmósfera podía ejercer. Se agenció dos semiesferas de cobre de 50 centímetros de diámetro perfectamente ajustadas, de forma tal que al unir las se formara una esfera y una máquina para extraer el aire de su interior, inventada por el mismo (ver figura V). Para facilitar el cierre hermético de las semiesferas metálicas o hemisferios se disponía de un aro de cuero que se colocaba entre las superficies que se tocaban. Cada hemisferio disponía de varias argollas para pasar cuerdas o cadenas por ellas y así poder tirar hacia los lados opuestos. Se escogió la ciudad de Magdeburgo para esta prueba [10].

Tras extraer el aire del interior, dos escuadras de ocho caballos cada una tiraron por cada lado, y la multitud observó como por más fuerza que hicieran estos animales no pudieron separar las partes [10].

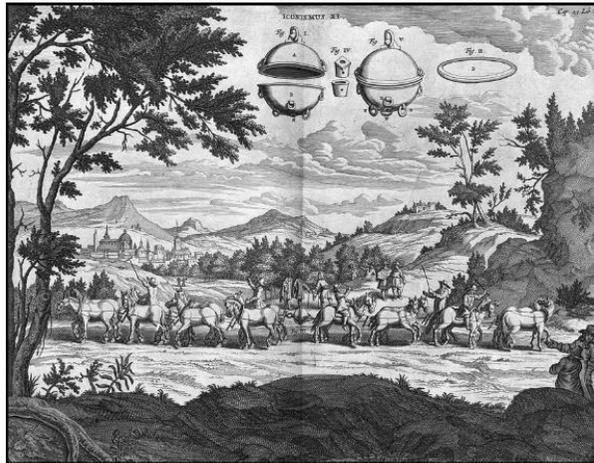


Figura V. El experimento de los hemisferios de Magdeburgo.

Desde un punto de vista técnico las semiesferas han formado un cuerpo hueco, que se encuentra sumergido en el aire atmosférico. Esto genera una gran diferencia de presiones entre el interior y el exterior, donde la resultante, dirigida hacia adentro, favorece la unión de las partes. Por su parte, la acción conjunta de los caballos, que se dirigía hacia afuera, no era superior.

5. Conclusiones. - La diferencia de enfoques ante el problema de ascensión del agua por conductos trajo como consecuencia una serie de estudios y experimentos que desembocaron en el descubrimiento del peso del aire, la presión atmosférica y la existencia del vacío. Cuestiones que forzosamente tuvieron que admitir científicos y religiosos.

La divulgación pública de los resultados científicos fue un factor importante en el cambio de concepción del aire como un elemento y de la presencia del vacío.

Muchas personalidades incidieron en el descubrimiento y la aceptación de la opinión pública del peso del aire, la presión atmosférica y la existencia del vacío. Así que no se deben dejar de mencionar por orden cronológico a Isaac Beeckman, Rene Descartes, Gianbattista Baliani, Galileo Galilei, Gasparo Berti, Magiotti, Evangelista Torricelli, Vincenzo Viviani, Marin Mersenne, Blaise Pascal, Florin Périer y Otto von Guericke.

6. Referencias

- [1] Hidalgo, J. M. *A História da Ciência (Distorcida ou Ausente) em Livros Didáticos: O Conteúdo sobre o “Experimento de Torricelli” como Estudo de Caso*, Alexandria: Revista em Educação em Ciência e Tecnologia, 2018. n° 1, v. 11: p. 101-124.
- [2] Hidalgo, J. M., Martins, J. & de Medeiros, D. *Física e História: Experimento de Torricelli – uma proposta didáctica multicontextual*, História da Ciência e Ensino, 2021. V.23: p. 60-91.
- [3] Festa, E. *Torricelli, Pascal y el problema del vacío*, Boletín de la Asociación Meteorológica de España, 2006. n° 4, Julio: p. 1-17.
- [4] Rouse, H. and Ince, S. *History of hydraulics*, 1957. Iowa Institute of Hydraulic Research. State University of Iowa. Iowa. USA.
- [5] Prieto, J.I. *Barómetros de Salón*, Boletín de la Asociación Meteorológica de España, 2003, n° 1, Julio, p.12-14.
- [6] Martins, M. *História e Filosofia da Ciência no Ensino: um caminho para o uso de Novas Tecnologias*, 2018, Universidad Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- [7] Pérez, J. R. *Evangelista Torricelli. De la bomba de agua a la invención del barómetro*, El Día, 2005, n° 3, Abril p. 1-3.
- [8] Herrera, R. M. *Historia del experimento barométrico*, Pensamiento Matemático, 2012. No. 2, p. 1-14.
- [9] Levi, E. *El agua según la ciencia*, 2001, Avances en Hidráulica 8. AMH, IMTA, México
- [10] Pelkowski, J. *El vacío de Guericke y sus virtudes*, Meteorología Colombiana, 2001. No. 4, octubre 2001, p. 127-138.
- [11] Navarro, J. *Tours verniens. Géographie, langue et textes littéraires. Oteando tempestades. Dos instrumentos meteorológicos en la obra de Verne*, 2019, Éditions Le Manuscrit, Paris.
- [12] Holguín, C. *Universalidad del genio de Pascal*, 1962, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

RTH ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

YYD ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota de aceptación: Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.